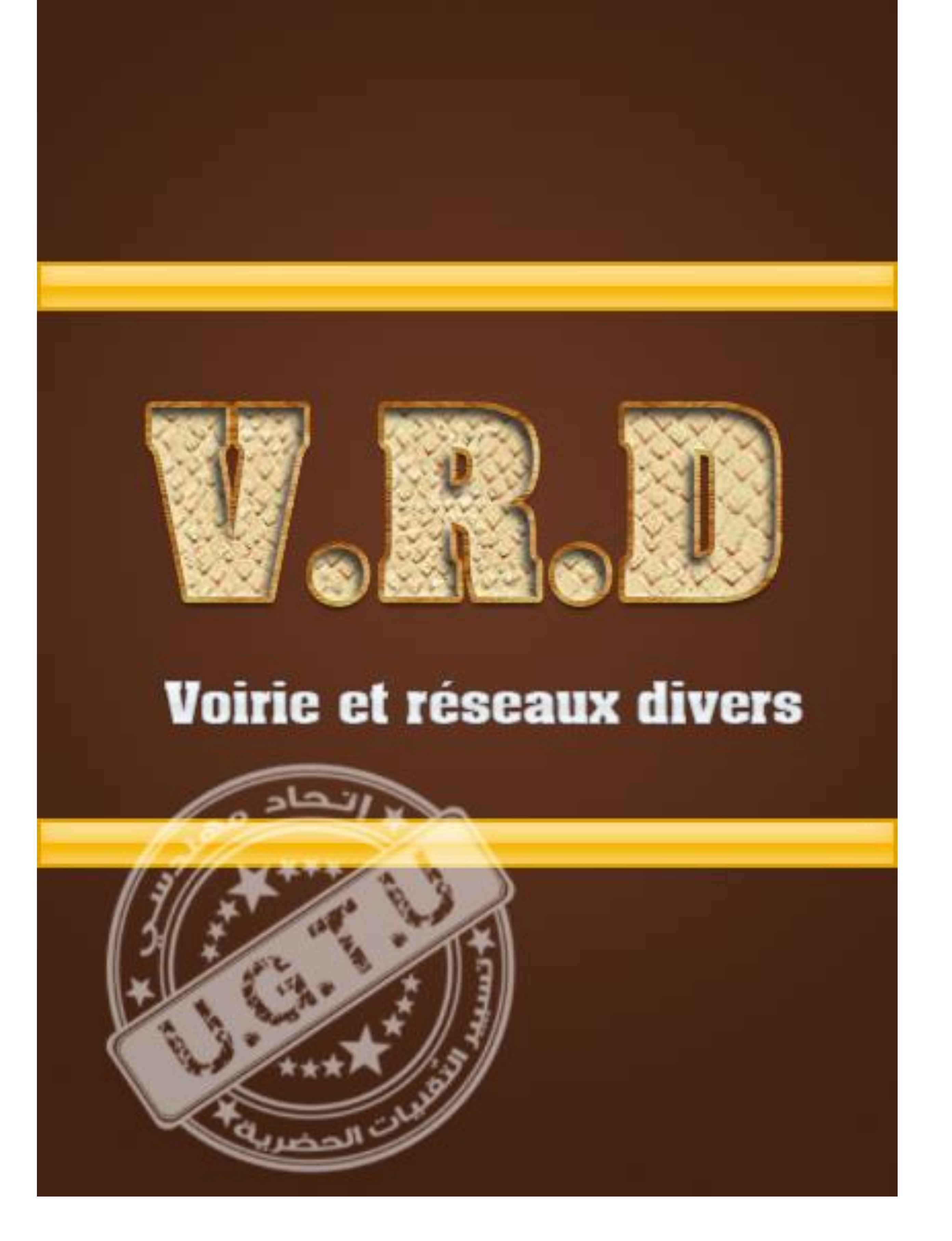

V.R.D
Voirie et réseaux divers
إتحاد
U.G.T.U
تسيير التقنيات الحضرية

SOMMAIRE

CHAPITRE III : - A.E.P-

CHAPITRE IV : -ASSAINISSEMENTS-

CHAPITRE V : -ELECTRICITE-

CHAP.0
INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE :

Jusqu'à une époque récente dans l'histoire, les modifications qui s'effectuaient sur les espaces collectifs étaient à partir des critères purement architecturaux et de confort ceci à fait la consommation de l'espace était très abusives et le coût de l'habitat très élevé, la croissance rapide de la démographie, et la révolution industrielle apparue à la fin de 19eme siècle, ont traduit le fait que les habitants se regroupent dans des espaces très limités.

De telles difficultés ont poussé les gens à rationaliser l'utilisation de l'espace, séparer les zones industrielles des zones agricoles et de celles à urbaniser, cette dernière qui fait l'objet de cette étude devra recevoir des opérations d'urbanisation qui permettent la satisfaction des quatre principaux objectifs :

a. Recherche la meilleure intégration possible de l'opération dans son environnement général (paysage naturel, milieu bâti, contexte socio-économique) selon l'inspiration des habitants.
b. Limiter les coûts d'investissement sans pour autant négliger les problèmes techniques.
c. Créer un cadre de vie satisfaisant pour les usagers.
d. assurer un développement équilibré et harmonieux des communes afin de satisfaire ces quatre (04) principes, c'est toute une étude de faisabilité et de conception technique des opérations pour cela on fait appel aux VRD qui à une influence directe et déterminante pour atteindre les objectifs cités ci-dessus.

0-1- DEFINITION DES VRD :

Devant tous les points cités ci-dessus, l'ensemble des techniques de conception, et méthodes de calculs élaborés pour répondre aux quatre (04) principes précités sont l'objet des VRD. Ces techniques interviennent dans la modification du terrain naturel (conception de la voirie et bâtisse) et également l'implantation des différents réseaux destinés aux services publics (AEP, Eclairage, Assainissement, … etc.).

0-2- VRD ET URBANISME :

Les concepteurs dans le champs d'application des VRD doivent intégrer dans leurs réflexions et dans leurs choix, les véritables contraintes techniques et économiques liées aux VRD ainsi à ne raisonner qu'en terme de sécurité et l'espace collectif en perdant de vue l'objectif final de ce type d'opération d'urbanisme réalisé pour les habitants, un cadre de vie dont toutes les conditions de sécurité et de confort sont réunies.
Inversement, les concepteurs de l'aménagement et de l'implantation doivent intégrer dans leurs réflexions et dans leurs choix l'introduction des grands ensembles dans le cadre de vie qui satisfait les inspirations des habitants, et conformément à la planification de l'urbanisme, ainsi à raisonner en terme du confort et d'un aménagement de qualité. Ceci induit des difficultés techniques, et des investissements considérables pour la conception et la réalisation de l'opération.

Pour faire face à ce paradoxe, il est toujours possible de trouver des solutions moyennes qui permettent d'assurer pour les habitants la sécurité et un confort minimum dans un cadre de vie simple.

0-3- TERME DE VRD :

0-3-1. ESPACE COLLECTIF :

D'une opération à l'autre, il occupe de 30% à 60% de l'emprise de l'opération, il constitue ainsi un élément essentiel d'un cadre de vie de traitement de l'aménagement de l'espace collectif (Voirie, Espace vert, Aire de jeu, Aire de stationnement) est déterminant pour la qualité de l'environnement d'un cadre de vie mais aussi en partie, au moins pour le développement de la fréquentation et la diversité des activités qui s'y déroulent.

0-3-2. VRD ET ASSAINISSEMENT :

Les VRD interviennent dans l'assainissement pour l'étude des ouvrages ainsi que l'implantation du réseau d'assainissement afin de collecter et de transporter et éventuellement traiter puis la restituer en milieu naturel et dans un état satisfaisant, des eaux pluviales ou de ruissellement et les eaux usées ou domestiques (eaux ménagères, eaux vannes, eaux industrielles).

0-3-3. VRD et AEP :

l'eau est un bien public et indispensable à toute urbanisation et doit être disponible en quantité suffisante pour assurer les besoins des populations.
Les VRD interviennent dans son champs d'application afin de répondre à ce besoin, par le conception et implantation de i'ouvrage, devront répondre à ces exigences.

0-3-4. VRD ET ENERGIE : (GAZ et ELECTRICITE) :

L'énergie est un élément très utile, la vie moderne y très attachée l'absence de cet élément peut paralyser toute une agglomération même un territoire entre qui pourra avoir conséquence indésirable sur l'économie inestimable.
Aussi les VRD prennent en charge la conception et la réalisation de tels réseaux afin de répondre aux besoins de la population.

0-3-5. VRD ET TELECOMMUNICATION :

De nos jours, la circulation rapide de l'information est très déterminante pour le développement économique social, les réseaux de télécommunication s'avèrent très indispensable.
C'est les VRD qui conçoivent et réalisent l'implantation du télécommunication.

0-3-6. VRD ANTENNE COMMUNICATIVE :

la réception des programmes de T.V ainsi que ceux de la radiodiffusion en modulation de fréquence s'effectue traditionnellement par une antenne individuelle située sur le boit de la maison.

Lorsque la densité de l'habitat augmente cela donne un aspect inesthétique des réalisations en outre elle est inefficace lorsqu'il se présent des difficultés de réception (obstacle naturel…)

La meilleure solution consiste a utiliser un réseaux communicative

de radio et télédiffusion appelé couramment réseaux d'antenne communicative, les VRD offrent le moyen technique et opératoire pour la réalisation d'un tel réseau.

Conclusion : Les VRD possèdent toute un arsenal de techniques qui permet d'urbaniser sur espace minime le maximum d'habitation avec des conditions de vie les normales possible.

CHAP.I
RESEAU DE VOIRIE

I. GENERALITES :

L'idée d'une voie est née dans les temps anciens depuis que les gens se sont mis d'accord spontanément pour emprunter les mêmes parcours pour accomplir leurs activités quotidiennes.
Cette idée n'a pas cessée d'évoluer à travers l'histoire compte tenu de l'évolution du mode de vie des usagers.
L'apparition des engins mécanique, a donné un grand pas pour la réalisation des voiries, qui, à présent fait l'objet de toute une étude technique avant d'entamer les travaux pour sa réalisation.

I-1.DEFINITION :

La voirie est un réseau constitué d'un espace collectif qui est appelé à couvrir la circulation des différents usagers (piétons, véhicules) avec une certaine fluidité.

I-2.CLASSIFICATION ADMINISTRATIVE DE LA VOIRIE URBAINE :

Les voies urbaines peuvent être classées selon trois (03) critères :

1/CRITERE TECHNIQUE : on distingue :

Les autoroutes-voies express-voies de type classique.

2/CRITERE ADMINISTRATIF & JURIDIQUE : on distingue :

1-Autoroute.
2-Voie rapide urbaine.
3-Route Nationale.
4-Voirie départementale.
5-Voirie communale.
6-Voirie privé.

I-3.CLASSIFICATION FONCTIONNELLES :

1-Voirie de déserte.
2-Voirie Artérielle.
3-Voirie Rapide Urbaine.
4-Voirie de Distribution.

I-4/CREATION D'UNE VOIRIE URBAINE :

La décision de création d'une voirie est d'abord politique puis juridique ensuite urbanistique, et enfin technique, cette dernière et qui nous concerne, porte l'objet de la faisabilité du réseau de voirie afin d'aboutir aux objectifs pour lequels ce réseau est conçu.

Pour une voirie tertiaire qui est conçue dans le but d'établir une liaison de circulation dans les habitations et groupe d'habitation doit se conformer aux critères suivants :

- Desservir chaque habitation et chaque groupe d'habitation par un tronçon de voirie.
- Assurer une fluidité de circulation suffisante afin d'éviter les problèmes de circulation.
- Aménagée telle façon à protéger les piétons et les véhicules en stationnement.

II-1. INTRODUCTION :

Lorsque un automobiliste et sur le point d'effectuer un changement de direction que se soit en planimétrie ou en altimétrie le confort, et sur tout la sécurité remis en cause si des dispositions appropriées ne sont pas prises en considération.
A cet effet, les raccordements des alignements de la voirie sont conçus pour répondre aux exigences du confort et de la sécurité.
II-2. Définition : En voirie urbaine, la raccordement est la courbure offerte à un tronçon de voirie interposé entre 2 alignements de direction différentes (en altimétrie ou en planimétrie). Cette courbure doit justifier certains critères de sécurité et du confort, en outre cette procédure offre l'avantage le tracer le plus économique.

II-3. INTERPRETATIONS GEOMETRIQUE DE LA COURBURE EN VOIRIE :

Soit un tronçon de voirie constitue de 2 alignements droit de direction
Différente (voir fig.1-a). Ce tronçon peut être assimilé à son

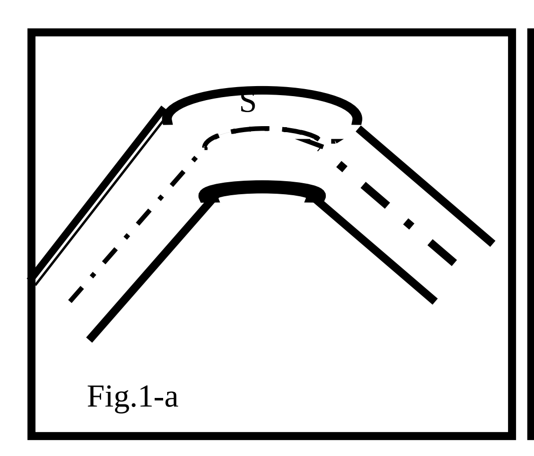


Fig.1-a

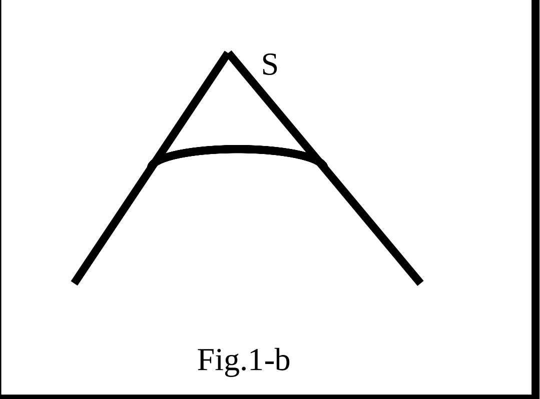


Fig.1-b

Axe médian en formant deux droites de directions différentes qui présentent l'intersection au sommet " S " (fig. 1-a). Leur raccordement se fait pour une voie tertiaire, par un arc de cercle de rayon à déterminer.

II-4. TERMINOLOGIE (Voir figure 2).

- Tangente “ T ” est la distance sur les deux alignements de part et d’autre du sommet (intersection des 2 alignements) sur laquelle on doit effectuer le raccordement.
- Angle au sommet “ a ” : C’est l’angle que forme les deux alignements au point d’intersection.
- Angle au sommet “ b ” : C’est l’angle formé par l’intersection de deux rayon du même raccordement tracés à partir des points tangence (A, B). Perpendiculairement.
- développée “ D ” : c’est de la longueur totale mesurée sur la corde du raccordement.
- Longueur du raccordement “ L ” : C’est la projection sur l’axe horizontal de la longueur total de raccordement mesurée sur les deux a alignement. En générale elle vaux approximativement double de la tangente.
- Flèche “ F ” : C’est la longueur du déplacement (sur la bissectrice de l’angle au sommet) du sommet vers la courbe du raccordement.

II-5. DIFFERENTES TYPE DE RACCORDEMENT :

Il y a lieu de distinguer deux types de raccordement.

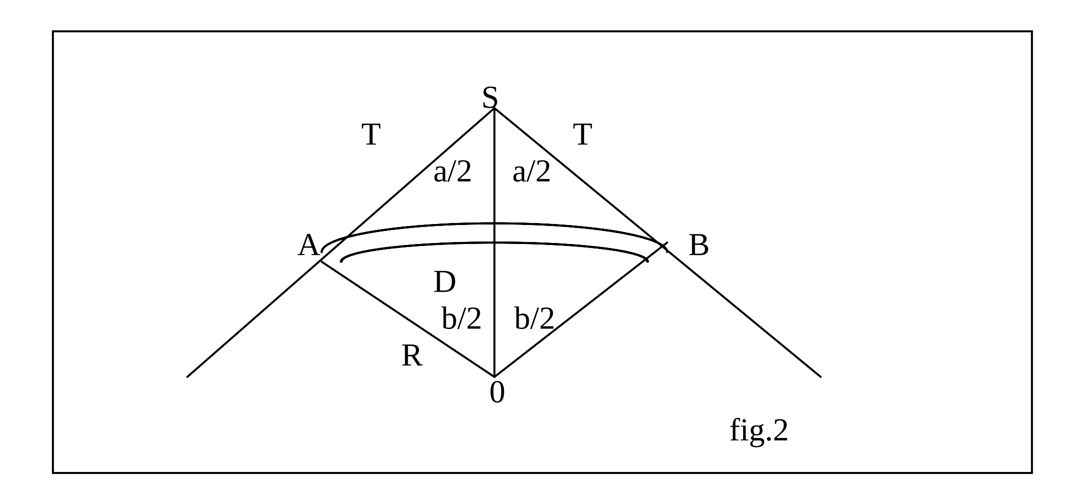


fig.2

II-5-1. RACCORDEMENT EN PLANIMETRIE :

Ce type de raccordement est utilisé pour créer un ou plusieurs virages au même sommet (carrefour).

Les données de base par lesquelles sont déterminés les caractéristiques géométriques de ce raccordement :

- Angle au sommet : calculés par le piquetage. (Voir §IV ch. I)
- . Rayon de raccordement : déterminé par les conditions de nom dérapage avec ou sans dévers (voir III).

II-5-2. RACCORDEMENT EN ALTIMETRIE :

Ce type est utilisé pour adoucir le changement de pente d'un alignement de voirie tout en assurant le confort et la sécurité.
Les données de base à partir desquelles les caractéristiques géométriques de ce type seront calculées sont :

- Le rayon R (voir profil en longue).
- Les déclivités P et P' de ces alignements.

II-6. CALCULE DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES RACCORDEMENTS :

II-6-1 : RACCORDEMENT EN PLANIMETRIE :

Soit à raccorder les deux alignements MS et NS (Fig. 3).
Connaissant L'angle de sommet a et le rayon de raccordement R.

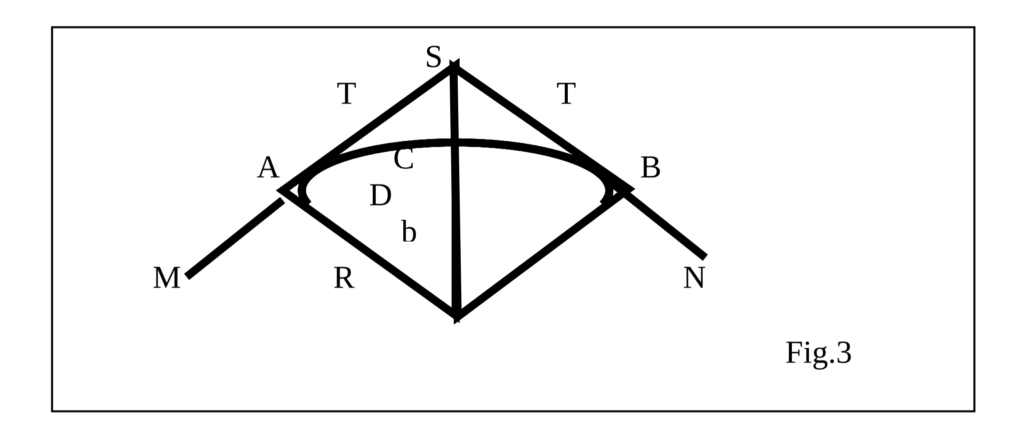


Fig.3

Sachant que :
OS et la bissectrice commune de l'angle au sommet " a " et l'angle au centre b. On peut déterminer les caractéristiques géométriques de ce raccordement :

a- ANGLE AU CENTRE B :

OSA est un triangle rectangle :
OSA est un triangle rectangle :
a/2+b/2+100=200 (1)
a/2+b/2+100=200 (2)

(1)+
(2)=a+b=200.

D'où : b=200-a (Grade). (1).

b- TRIANGLE " T " :

OSA est un triangle rectangle.

* $tg\ b/2 = T/R$ => $\boxed{T = Rtg\ (b/2)}$ (1)

Ou bien $tg\ a/2 = R/T$ => $\boxed{T = R/tg\ (a/2).}$ (2)

c- DEVELOPPEE " D " :

D = AB qui est un arc de cercle.

D = RX b (rad). Avec : b(rad) = π.b/200 (Gd)

$$D'où : D = \frac{\pi . bR}{200} \ (grd) . (m)$$

d- LA FLECHE " F " :

$$\cos b/2 = \frac{R}{R + F} \implies R + F = \frac{R}{\cos b / 2}$$

$$D'ou : F = R \frac{(1 - \cos b/2)}{\cos b/2} \quad (4)$$

II -6-2/RACCORDEMENT EN ALTIMETRIE :

Connaissant le rayon R du raccordement généralement très grand les déclivités P et P' des alignements MS. NS (Fig. 4).

On peut déterminer toutes les caractéristiques géométriques du raccordement selon deux cas :

*P et P' sens contraire : (Fig 4-a).

Donnée :

a = Arctg (p) (1). avec p et p' (m/m).

b = Arctg (p') (2). a et b G d

a- TANGENTE " T " :

$$tg \frac{(a+b)}{2} = \frac{T1}{R} = \frac{T2}{R}.$$

$$T1 = T2 = R\ tg \frac{(a+b)}{2} \quad (3)$$

$$a,b \text{ très petit} \implies tg \frac{a+b}{2} = \frac{tga + tgb}{2} \quad (4).$$

(1), (2), (3) cts $T2 = T2 = R/2 \quad (p + p'')$

$D = R\ (a-b)$ rad :

D'ou $(a-b)\ Dr = \pi R/200\ (A + B)$ (Gd)

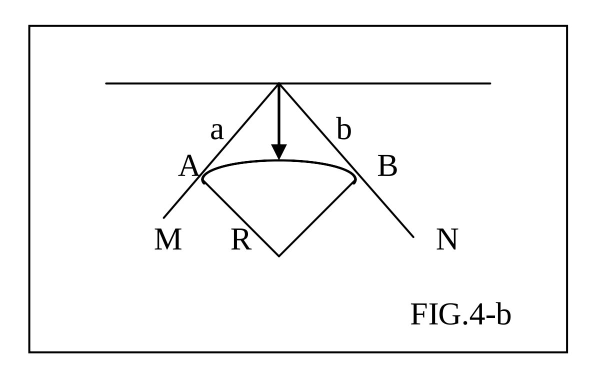


FIG.4-b

b- LONGUEUR DE RACCORDEMENT " L " :

$L = U1 + U2$ avec : $U1 = T \cos a$

Or, A et B très petits.

$U2 = T \cos b$

$L = U1 + U2 = T \cos a + T \cos b = 2T \cos a = \cos b = 1.$

D'où : $L = 2R \quad (p + p'') ==> L = R\ (p + p'')$. (2)

c- LA FLECHE " F " :

Triangle SAD rectangle $(R + F)^2 = R^2 + T^2$ $2FR = R^2/4\ (p + p'')^2$

$F << R$

$R^2 + T^2 + 2\ ERF) = R2 + T2.T/2 = R\ (p + p'') =$

D'ou $F = R/8\ (p + p'')^2$ (3)

* pet p' de même sens (Fig 4-b):

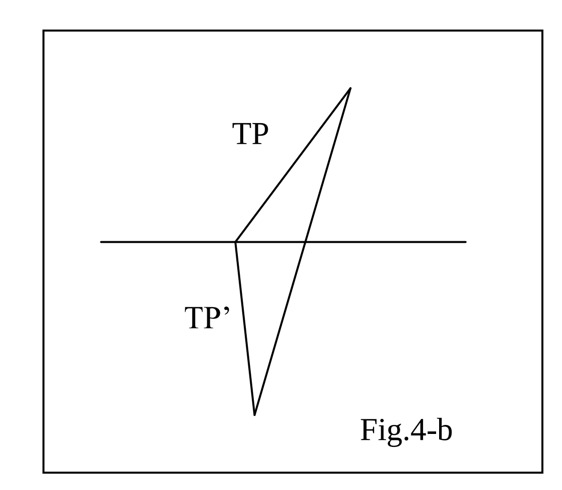


Fig.4-b

Même raisonnement que le ler cas :

$T = R/2\ (p-p')$

$L = R\ (p-p')$; $D = \pi R\ (a - b)/200$ (m)

$F' = R/2\ (p+p')$

b (grade).

II-7- RACCORDEMENTS PARABOLIQUES :

Ce type de raccordement est généralement utilisé pour les profils en long où les déclivités sont très faibles. Leurs rayons est très grand, (voir CH.I.f.V)
Le principe consiste à assimiler le cercle de rayon à une parabole d'équation caractéristique. $X^2 - 2RY = 0$ (1)

II-8- CALCUL PRATIQUE DES RACCORDEMENTS PARABOLIQUES :

Soit à déterminer le raccordement de rayon " R " des deux alignement MS et NS en ductilité respectivement P et P'. (fig.5).
Connaissant la tangente à la courbe de raccordement, il est possible de déterminer les coordonnées (distance, altitude) du point J qui est le déplacement du point haut au sommet, et point bas dans un creux en suivant les étapes suivantes :

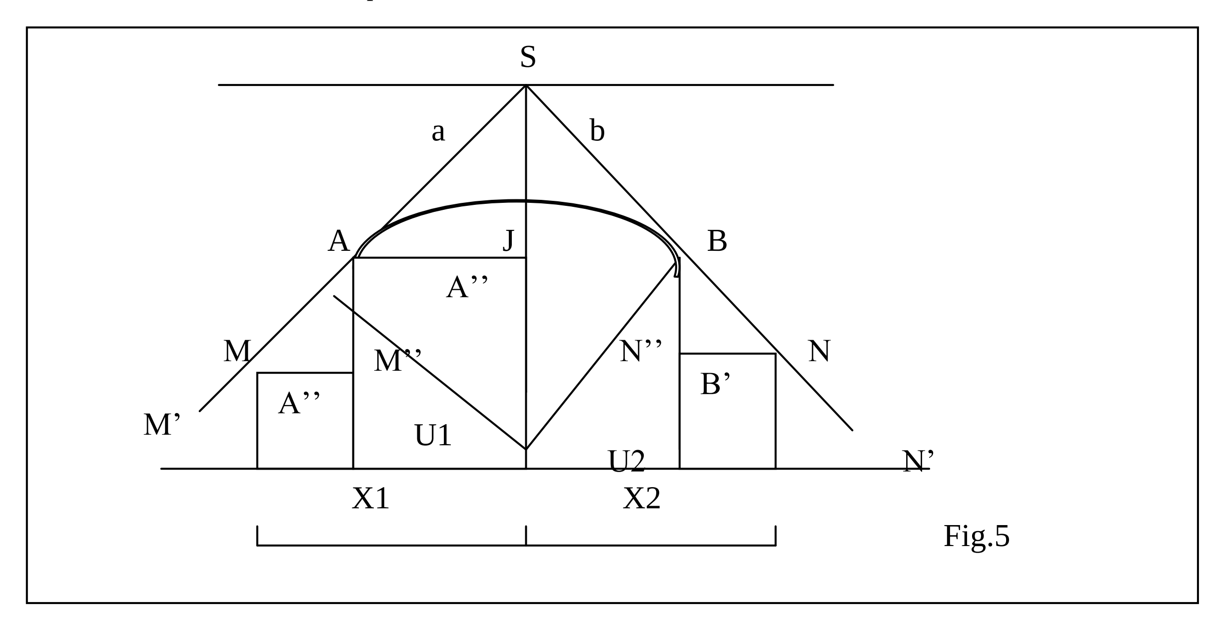


Fig.5

- UI = R/2 (P + P'') cos b

  B << 1 => cos b --- 1

  UI = R/2 (P + P'') --- T

  Connaissant l'altitude de M
- MM '' = X1 –U1
- A'A = MM' + M'A avec, M''.A = p(X1-U1) = PMM''

Caractéristique de la parabole est : $Y = XP^2 / 2R$
Pour X = U1 => $Y = U1^2 / 2R$

TRACE EN PLAN :

III-1. INTRODUCTION :

Le tracé en plan d'un réseau de voirie est la projection verticale de l'espace occupé par ce réseau sur un plan horizontal.
Ce tracé est composé d'un ensemble d'alignements droits qui se croisent en certains point d'intersection appelés sommets qui donnent lieu, dans la voirie, aux virages et carrefours. Un traitement spécial de ces lieux est à envisager car ces endroits peuvent porter préjudice ou confort et surtout la à sécurité des usagers.

III-2. Position des problèmes :

Lorsque un automobiliste emprunte un changement de direction (virage) il est soumis aux effets suivants :

- Dérapage sous l'effet de l'accélération centrifuge.
- Distance insuffisante pour opérer un obstacle sur la voie.
- Affranchissement sur le trottoir des véhicules long.

Afin d'épargner les usagers de ces problèmes, il est recommandé d'exécuter des raccordements circulaires pour les voies tertiaires (dont les caractéristiques géométriques sont détaillées dans le II).
Ces raccordements doivent justifier les conditions suivantes :

- stabilité du véhicule pendant l'emprunt du virage, en agissant sur les deux facteurs suivants :

- Rayon de raccordement qui est facteur de la vitesse de référence et le coefficient de frottement des pneus avec la chaussée et l'accélération de la pesanteur (voir III-3)
- Relèvement des virages (dévers) qui donne naissance à une force opposée à celle qui a tendance à éjecter le véhicule pendant a l'extérieur du virage.

- Assurer une distance de visibilité dans les virages afin de permettre aux véhicules de s'arrêter avant d'atteindre l'obstacle.
- Envisager dans certains cas des surlargeurs dans les virages afin de permettre aux véhicules long l'affranchissement des virages sans que leur gabarit n'atteint le trottoir.

Ce type d'opération est utilisé dans les voies secondaires et primaires.

REMARQUE :

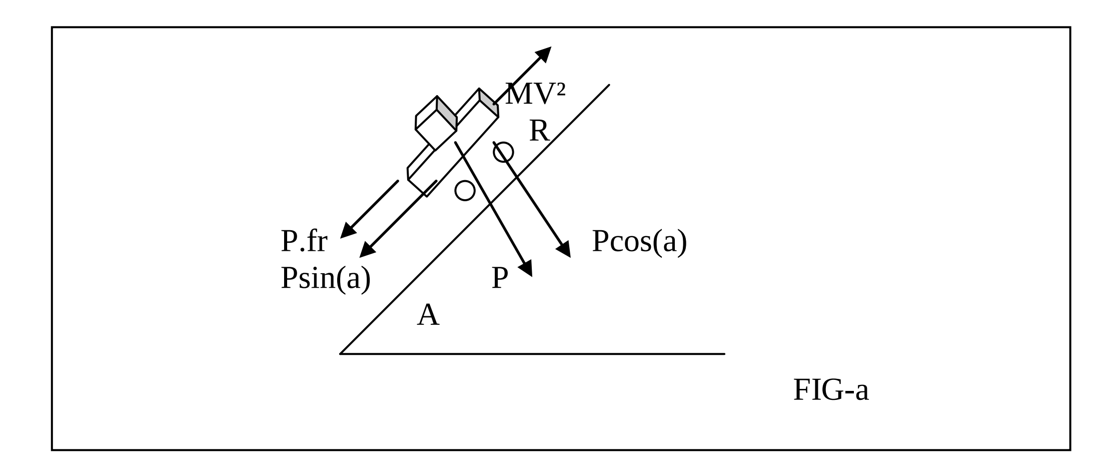
Il est recommande d'éviter les grands alignements, surtout pour les voies projetées sur les terrains accidentés car leur réalisation revient très coûteuse ainsi que de tels alignements posent des problèmes d'éblouissement et de monotonies.

III-3. CONSIDÉRATION GÉNÉRALE :

III-3-1. CALCUL DES RAYONS DE RACCORDEMENT :

Les rayons de raccordement qui devra satisfaire les conditions de non dérapage du véhicule peuvent s'exprimer physiquement de la façon suivante :

a°/ CONDITION DE NON DERAPAGE AVEC DEVERS : (FIG.6-A



$\sum$ fx = 0 ; MV^2/R - Psin a – P.fr = 0
avec : MV^2 / R : force centrifuge
P sin a : composante tangentielle du poids
P.fr : effet des frott.(pneu chaussée)
De (1) MV^2/R = mg (sin a + fr)

D'où : R = Vr^2 /gsin a + fr

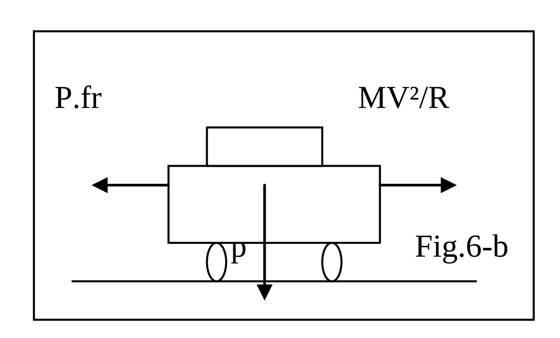
Avec : Vr : vitesse de référence (voir tertiaire Vr –30)
Sin b : dévers de la chaussée (relèvement du travers de la chaussée)
fr : coefficient de frottement correspondant à un pneu médiocre sur chaussée mouillée fr = 0,12 à 0,18.
" G " : accélération de la pesanteur g = 10 m/s²

B°/ CONDITIONS DE NON DERAPAGE SANS DEVERS : (FIG.6-B

$\sum$ fx/0 =0

MV^2/R = P.fr ==> MV^2/R = M.g.fr

D'où : R = V^2/g.fr

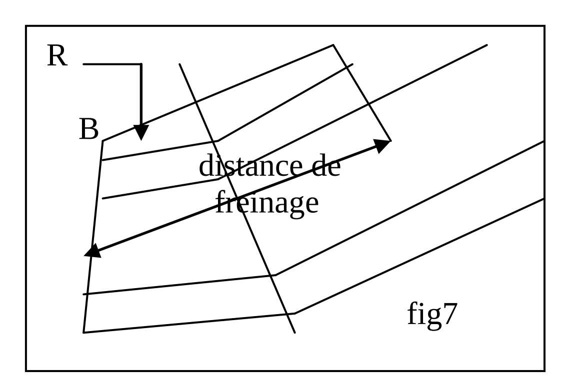


III-3-2. DISTANCE DE VISIBILITE :

La distance de visibilité dans un virage est la distance nécessaire qu'il faut aménage pour éviter qu'un conducteur attend un obstacle qui surgit subitement dans le virage, elle est égale au moins a la distance d'arrêt, cette distance peut être amélioré :

- par modification du rayon de raccordement.
- Par arasement au recul des obstacles.

Afin d’assurer une distance de sécurité D, dans une courbe de rayon R, il faut des dégagements latéraux au moins égaux a E, (fig. 7).

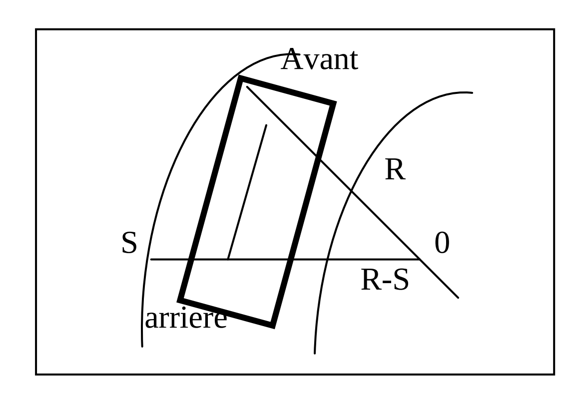


III-3-3. DISTANCE DE FREINAGE : (D’ARRET).

Cette distance est fonction de l’attention du conducteur, selon qu’elle soit concentrée ou diffusée.
En effet, le temps “t1 ” nécessaire de réflexe d’une attention diffusée est plus importante que le temps t2 celui d’une attention concentrée.
A cette effet :
On a estimé t1 =2t2.
Donc pour un véhicule roulant à une vitesse de base Vr, la distance d’un arrêt nécessaire est :
$Df = V/5 + V^2 / 100$ (V (Km/h) pour une attention concentrée.
$Df = 2(V/5) + V^2/100$ (V (Km/h) pour une attention diffusée.
Le terme $V^2/100$: correspond à la distance nécessaire pour l’arrêt du véhicule. Pendant l’opération du freinage.
(V/5, 2V/5) / corresponde à la distance parcourue par le véhicule pendant la réflexion du conducteur au freinage respect avec une attention concentrée et une attention diffusée.
Les normes fixent : Df = 15m pour une attention concentrée.
Df = 21m pour une attention diffusée.

III-3-4. SURLARGEUR DANS LES VIRAGES : (RAYON D’INSCRIPTION).

Lorsque des véhicules longs franchissent le virage, leur saillie arrière risque de déborder de la chaussée, (Fig. 8) pour y faire fasse on doit envisager une surlargeur “ S ” si le sens est unique, et une surlargeur “ 2S ” de part et d’autre de la chaussé si elle est en double sens.



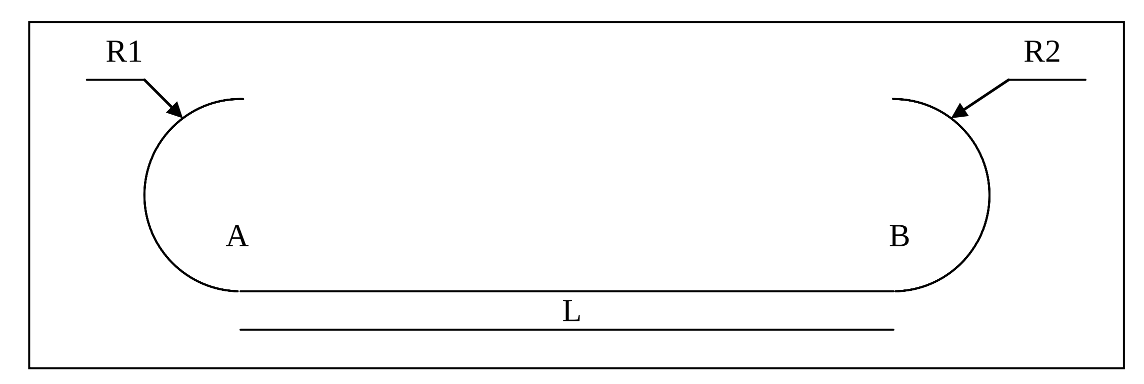
***calcul sur largeur S % :** (fig.9)

RE : rayon extérieure du triangle OAB : rectangle
$Re^2 = (Re - S)^2 + L^2$
Avec L = saillie avant + empâtement
$Re - S = \sqrt{(Re^2 - L^2)} \Rightarrow S = Re - \sqrt{(Re^2 - L^2)}$; d'où : $S = L^2/2R$

II-3-5. RACCORDEMENT SUCCESSIFS : (Fig. 10).

Lorsque deux raccordements successifs se présent, il est recommandé de les séparer par un alignement droit qui est calculé selon les 2 cas suivants :

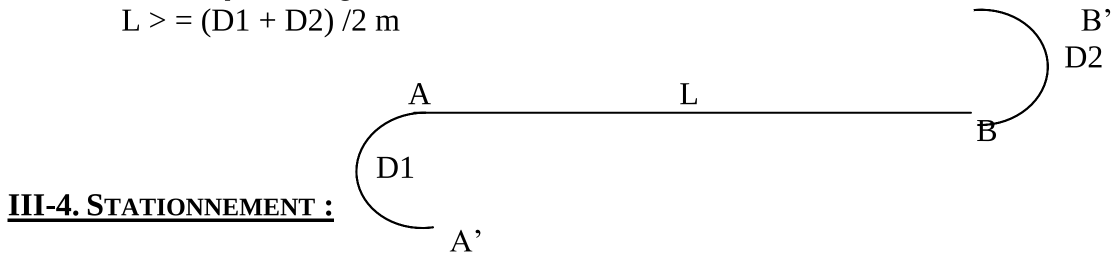
a°/ COURBES SUCCESSIFS DE MEME SENS : (fig.10-a)



Lorsque le conducteur est en position A (fig.10-a), pour aborder le 2e virage en " B ", il doit parcourir une distance L pendant t = 5 s, à la vitesse de référence V_0.
Sachant que V_0 = 30 mh/h et supposant que le déplacement du véhicule est rectiligne uniforme donc :
$L > V_0 = 30.5.1000/3600 \Rightarrow L = 41{,}66$ m.

b°/ COURBES SUCCESSIVES DE SENS CONTRAIRE : (fig.10-b)

dans ce cas, l'alignement L qui devra séparer les deux courbes est fixé au minimum à la moyenne arithmétique des longueurs des raccordements D1.D2.
L > = (D1 + D2) /2 m



III-4. STATIONNEMENT :

III-4-1. INTRODUCTION :

Une bonne conception d'un réseau de voirie ne se limite pas uniquement à une fluidité satisfaisante de la circulation, aussi il faut résoudre le problème de stationnement qui s'accentue surtout pendant les heures de pointe ou le débit horaire des véhicules est très important.
A cet effet, une partie de l'espace collectif doit être aménagé pour les besoins de stationnement, car en aucun cas on ne doit laisser le choix de stationnement au gréés des conducteurs, ceci pourra compromettre la raison principale pour laquelle est conçue le réseau de voirie qui est la fluidité de la circulation.

III-4-2.POSITION DU PROBLEME :

Afin de parvenir à des solutions rationnelles et économiques du problème de stationnement dans son ensemble, nous avons jugé utile d'examiner certaines données techniques de ce problème que nous allons exposer ci-après :

***a°/ MOTIF DE STATIONNEMENT :**

a-1°/ STATIONNEMENT LOGEMENT :

Ceci est caractérisé par une durée longue, en général, ce stationnement est assuré en dehors des voiries de circulation, excepté dans les quartiers anciens. Les garages privés tendent à manquer le stationnement alors s'effectue sur la voie publique.

a-2°/ STATIONNEMENT TRAVAIL :

Ce stationnement est également de longue durée sauf les zones industriels modernes, ou est les assuré par l'employeurs, en zone dense, ce stationnement se répercute sur plusieurs voies au alentours de l'établissement.

A-3°/ STATIONNEMENT AFFAIRE :

Contrairement aux deux premiers (a 1, a 2) ce stationnement est de courte durée, il est de l'ordre de ¼ heure à 1 heure.

***b°/ DEMANDE DE STATIONNEMENT :**

Deux méthodes peuvent être utilisées pour évaluer la demande basée sur des procédés statistiques et enquêtes qui sont fonctions de certains paramètres dont on distingue :

- La population totale de la zone urbanisée.
- Le taux de motorisation de la zone considérée.
- Le taux des véhicules en heure de pointe.

Afin de fixer les idées, le tableau ci-dessous donne la demande de stationnement selon les besoins des endroits considéré :

Habitation H.L.M……………………………0.5 à un place / gratte
Habitation de standing ……………………... 1.5 à 2 places gratte
(G/ pièces par surface de 20 à 30 Véhicules placés à proximité du B.T.)
Bureaux laboratoire …………………………1 place /20m^2 bureaux
1 place /4 employés.
Centre commerciale …………………………1 place /50 m² de surface.
Hôtel ……………………………………...1 place /5 chambres.
Acrogure ……………………………………1 place /3 passagers.
Zone industrielle ……………………………0.7 place / ouvriers.
Hôpital ………………………………………1 place / 5 lit.
Cinéma ………………………………………1 place / 10 spectateurs.
Restaurant ……………………………………1 place / 10 clients.

C- L'OFFRE DE STATIONNEMENT :

Le stationnement de véhicule est organisé sur des bandes prévues à cet effet ces bandes sont aménagées, soit sur la voie de circulation, soit sur voie latérale. Il ne faut jamais perdre de vue dans le cas de bande de stationnement

- Largeur minimal ; spécialement dans le cas de bande sur chaussée du Circulation (2,5m.5, 00m)
- Dans l'absence de contraintes naturelles du terrain, opter pour une disposition des bandes la plus économique en surface.

Les dimensions minimales d'une bande de stationnement sont fixées à 2,5 m de largeur et 5 m de longueur.

***RANGEMENT EN EPI : (Fig 12)**

a°/ RANGEMENT SUR UNE BANDE AVEC UN SENS DE CIRCULATION :

La surface utilisée sur une bande de 100 M pour un fil.
Bande de rangement 100.5,3 = 530 m²
Bande de circulation 100 . 3 = 300 m²
----
total = 830 m²
Nombre de places offertes 27 places
Surface occupée/véhicule 830/27 = 30,74 m²/véh.
Surface perdue 6,3 . 27 + (6,25 . 2) = 182,6 m²

b°/ RANGEMENT SUR 2 BANDES AVEC UN SENS DE CIRCULATION SUR 100 (m) %.

*surface de rangement 2. 100. 5,3 = 1060 m²
*bande de circulation 1.3.100 = 300 m²
----
total = 1360 m²
nombre de voiture 2.27 = 54 véhicules
- surface occupée /voiture 1360/54 = 25,19 m²/véh.
- surface perdue (6,3.54) + (6,25.4) = 365,20 m²

c°/ RANGEMENT SUR DEUX BANDES AVEC CIRCULATION A DOUBLE SENS :

sur 100 m : pour 2 files.
Bande de rangement 2.100.5,3 1060
Bande de circulation 2.3.100 600
----
total = 1660
nombre de place offerte 54 voitures
Surface utilisées/voiture 1660/54 = 30,74 m²/voitures.
Surface perdue (6,3.54) + (6,25.4) = 365,20 m²

CONCLUSION :

La disposition la plus économique en terme de surface est le rangement en bataille car cette disposition offre plus de place et peut de surface en outre, elle est plus pratique aux manœuvres de stationnement.

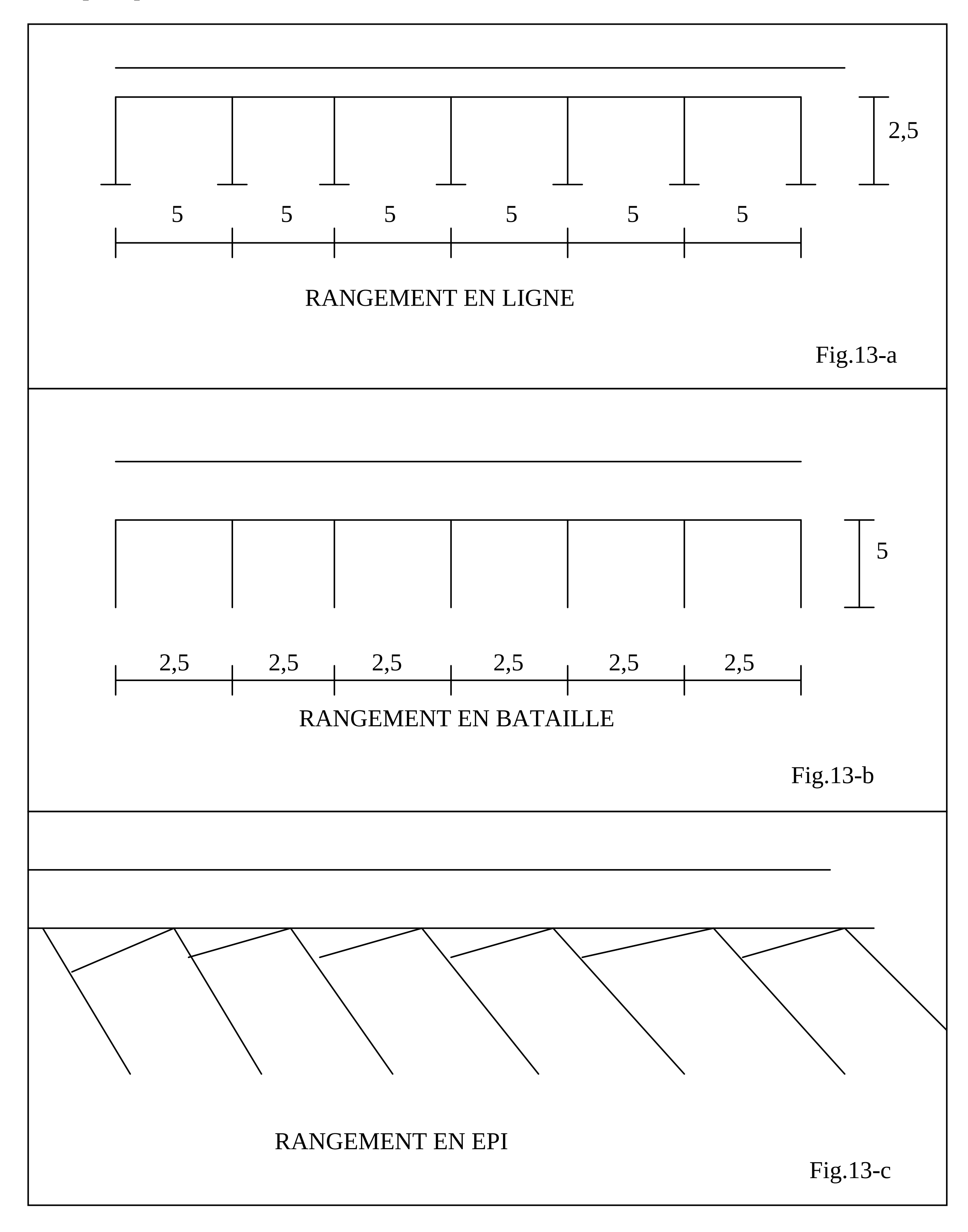


Fig.13-a

Fig.13-b

Fig.13-c

En générale cette disposition est la plus utilisée en l'absence des contraintes naturelle terrain.

III-4-3/ DISPOSITIONS DES BANDES DE STATIONNEMENT :

Trois (03) types principaux de disposition des bandes de stationnement qui peuvent justifier un choix on distingue :

1°/ Rangement longitudinale (stationnement en ligne) (Fig. : 13-a).
2°/ Rangement transversale (stationnement en bataille) (Fig. 13-b).
3°/ Rangement incliné (stationnement en épi) (Fig. 13-c).

AUTRE POSSIBILITES DE RANGEMENT :

1°/ rangement en lame de parquet.
2°/ Rangement en chevrons.
3°/ rangement en épi à 60°.
4°/ Rangement en épi à 30°.

III-4-4. ETUDE CRITIQUES DES DISPOSITIONS PRINCIPALES :

1°/ RANGEMENT LONGITUDINALE : (Fig. 13-a).

La surface utilisée pour un fil de bande de 100 m :
Bande de stationnement : 2,5.100 = 250 m²
Bande de circulation : 3.100 = 300 m²
----
total = 550 m²
Nombre de place offerte par fil 100/6 = 17 places
Surface utilisées / véhicule 550/17 = 32,35 m²/voiture.

2°/ RANGEMENT EN BATAILLE : (fig.13-b)

La surface utilisée pour une file de bande de 100 m de longueur :
Bande de stationnement 100.5 = 500
Bande de manœuvre 100.2 = 200
Bande de stationnement 100.3 = 300
----
total = 1000
Nombre de places offertes par file 100/2,5 = 40 véhicules
Surface revenant à chaque véhicule 1000/40 = 25 m²/véhicules.

III-5. TROTTOIR :

III-5-1. INTRODUCTION :

Les accotement dans une voie urbaines sans remplaces par les trottoirs dont la fonction n'a est pas seulement d'assurer une certaine fluidité rapide des piétons mais aussi, les promenades des gens ou admirer les expositions dans les vitrines.

III-5-2*. CAPACITE DES TROTTOIRS ET VITESSE DE MARCHE :

Dans certains pays occidentaux on a observé que la vitesse moyenne de marché sans obstacle et de :

En palier	5.8 km/h.
En déclivité	2.9 km/h en montant.
	3.5 Km/h en descendant.

A partir de ces vitesses moyennes, en pourrait déduire un débit horaire connaissant l'encombrement moyen d'un piéton qui varie selon l'environnement de la voirie. Ainsi on estime que les débits horaires / mètre de largeur de trottoir son les suivants :

Pour une voie commerçante	1000 p/h.
Pour une voie non commerçante	2000 p/h.

Pour les passagers spéciaux ou les gens circulent sans distraction (accès à la gare) 4000 à 4500 p/h.

III-5-3*. LARGEUR DES TROTTOIRS :

Les normes exigent que la largeur minimale du trottoir déterminée par le fait qu'un piéton et une voiture d'enfant peuvent se croiser sans gène.
On obtient ainsi pour le trottoir d'une voirie tertiaire les dimensions suivantes :

- 1.50 m lorsque le trottoir ne comporte pas d'obstacle.
- 2.00 m lorsque le trottoir comporte des condélabres d'éclairages public.

Pensant l'aménagement du trottoir tel qu'implanter une ou plusieurs rangées d'arbre, peut augmenter la largeur de trottoir de 5 m jusqu'à 9 m.

III-6. BORDURE DE TROTTOIR :

La séparation physique entre la, chaussée et le trottoir est matérialisée par des bordures (fig.14), qui constituent un obstacle pour l'envahissement du trottoir par les véhicules pendant les manœuvres de stationnement, la hauteur de bordure est fixée selon l'endroit de son implantation.

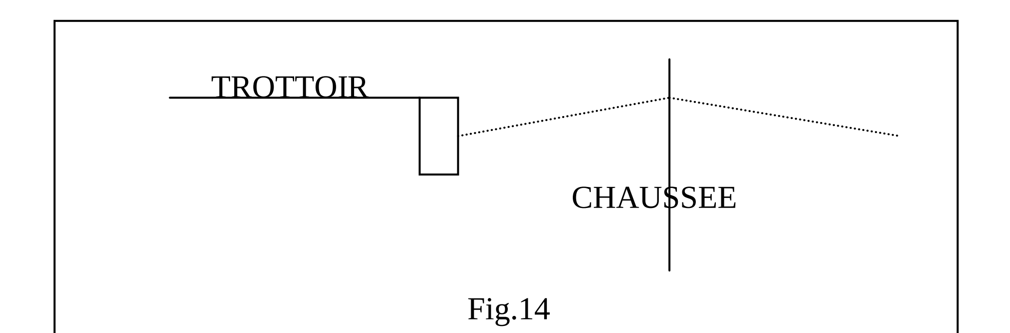
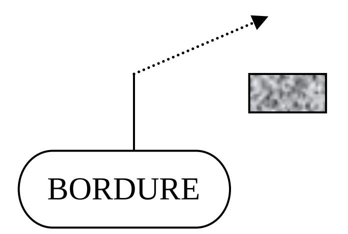


Fig.14



Au droit d'un garage 7cm.
Sur le pont 18 à 20 cm.
Dans une voirie tertiaire cette hauteur est prise à 14 cm.

a°/ *-DIFFERENTS TYPES DE BORDURES : (Fig. 15).

Les bordures étant des éléments préfabriqués en béton de dimensions normalisées posées sur une fondation en béton maigre selon leur fonction il y a lieu de cité deux (02) types de bordures :

- Bordure courante, empêche l'envahissement des trottoirs par les véhicules. (Fig. 15-a).
- Bordure franchissable permettant le passage d'un véhicule à vitesse réduite et selon la destination des bordures on paut distinguée.

Type A : Destinées aux routes.
Type T : Destinées aux voiries urbaines.

b°/ DETAIL DE CHAUSSEE UTILISANT UNE BORDURE T2 CC2.C2

(Fig. 16) (Voir profil en travers type – Fig. ci-contre).

c°/ LES CANIVEAUX :

Les caniveaux sont aussi des éléments préfabriqués de dimension normalisée ils sont repérés par CC.CS mais sont destinées à recueillir les eaux pluviales et les évacuer vers les regards à grille ou à avaloir.
On les rencontre au dessus des bordures type CC2 (Fig. 17-A) ou bien la surface des parcs séparant ainsi, que dans les aires de stationnement de la chaussée (fig. 17-b).

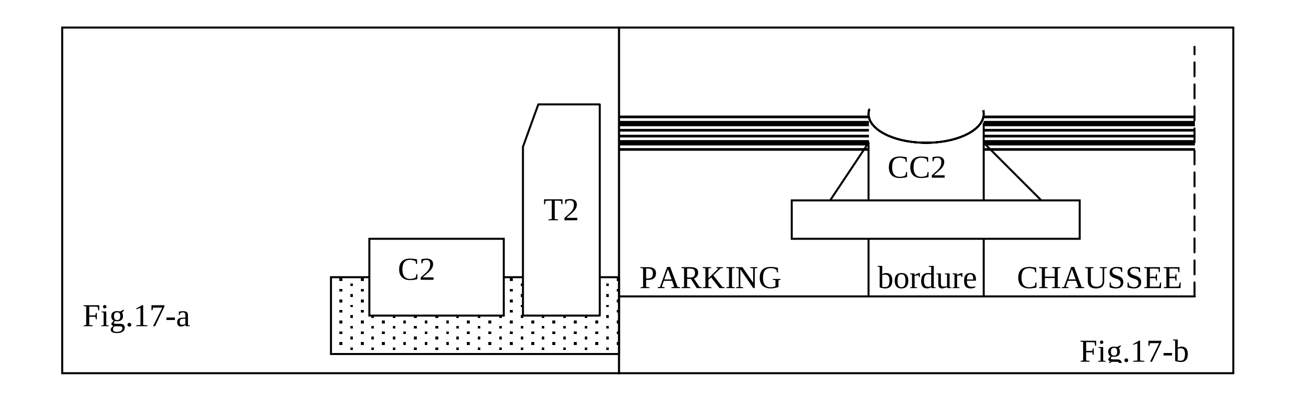


Fig.17-a
Fig.17-b

d°/ DIFFERENTES CLASSES DE BORDURES :

- le fascicule 31 L définis 3 classes de bordure et caniveaux désignés par le résistance nominale à la flexion du béton constitutif.
- Classe 55 : résistance nominale à la flexion 55 bars, bordure utilisée lorsque efforts appliques sont réduits.
- Classe 70 : résistance nominale à la flexion 70 bars, bordure ou caniveau d'emploi courant.
- Classe 100 : résistance nominale à la flexion 100 bars, l'emploi doit justifier des effort importants pouvant être appliquer notamment pour les voies urbaine à circulation intense.

III-7/ VOIE POMPIERES :

III-7-1/ INTRODUCTION :

Lorsqu'on procède à la conception d'une zone urbaine, en doit garder en vue que chaque bâtiment doit être desservi par un tronçon de voirie afin de permettre toute sorte de liaison entre l'intérieur de l'immeuble et l'environnement extérieur.

Cependant, lorsque des difficultés techniques s'imposent on est amené à implanter le bâtiment loin de la voirie, ainsi le bâtiment est isolé à ce moment une voie pompière s'avère nécessaire afin de permettre au moins au véhicules de secours des sapeurs pompier l'intervention facile et rapide en cas d'incendie.

On rappel que ces voies ne doivent aucun cas être utilisées pour circulation courante d'ailleurs un obstacle facilement amovible est prévu à l'entrée de cette voie, cet obstacle est matérialisée par des barrières ou poteaux. Une voie pompière peut être utilisée comme une allée piétonne.

III-7-2/ PROPRIETES DES VOIES POMPIERE :

Afin qu'une intervention des sapeurs pompiers en cas d'incendie soit efficace sans gène extérieur, la voie pompière doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Possibilité de passage d'un véhicule de 13t portant une échelle de 30m
- Largeur de la voie : Section d'accès avec un poteau max de 15% ……..2.5m. Section d'utilisation avec un poteau max de 10%....3.5m.
- Les voies disposées en parallèle au façades des bâtiments leur bord le plus proche étant situé d'au moins à 8m de façade. Les voies perpendiculaires aux façades situent à moins de 5m avec une largeur d'utilisation de 10m.
- Rayon de raccordement intérieur est de 11m au minimum avec une surlargeur (s= 15/R).
- La voie doit pouvoir résister à un effort de poinçonnement de 10 T sur un cercle de rayon de 20cm.

PIQUETAGE :

IV-1/ INTRODUCTION :

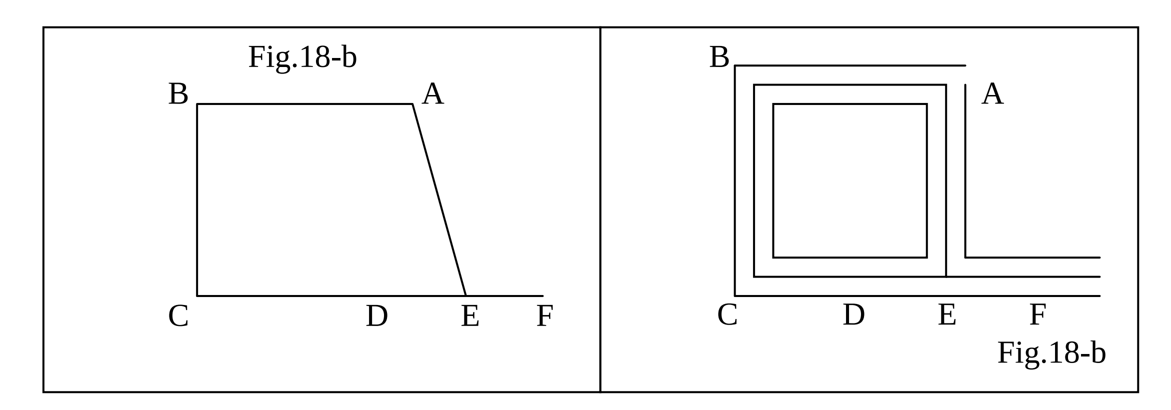
Sur la superficie du terrain destinée à la réalisation d'une agglomération, l'architecte est appelé à implanter judicieusement l'ensemble des bâtiments et le réseau de voirie selon des normes architecturales et les contraintes imposées par le terrain (relief).
Dans ce qui suit seul l'implantation du réseau sera étudier avant de penser à la réalisation du réseau sue le site, une étude avec une précision souhaitable est nécessaire, en effet l'infiltration de l'erreur dans l'étude, par défaut de précision, peut avoir des conséquences indésirables (chevauchement de la chaussée et les bâtisses).
Afin d'éviter de telles conséquences, l'opération de piquetage peut satisfaire les condition d'une bonne implantation sur le terrain.

IV-2/ DEFINITION :

Le procède du piquetage est un principe relevant de la planimétrie (Topographie) qui a pour objet la détermination des caractéristiques d'un cheminement quelconque en particulier, celui qui représente un réseau de voirie.

IV-3/ INTERPRETATION GEOMETRIQUE DE LA VOIRIE : (Fig- 18)

Afin d'adapter au réseau de la voirie les hypothèses du piquetage, il est recommandé d'assimiler le réseau de la voirie (fig.18-a) à son axe médian, ainsi une figure géométrique sera associée au réseau de la voirie (fig.18-b).



La figure représentative (fig, ci-dessus) est cheminement composé d'un ensemble de segments de droites (AB,BC, …..) (alignement de la voirie) et sommet (A, B, C), carrefour B de la voirie, leurs liaisons forment des cheminements qui sont en partie ouvert (ABCDEF) et en d'autre partie fermés (ABCDEA).

IV-4/ INTRODUCTION AUX CALCULS :

IV-4-1/ TERMINOLOGIE :

a°/ NORD GEOGRAPHIQUE : c'est la direction d'un point vers le pole nord, qui est pris comme référence pour la détermination des gisements.

b°/ GISEMENTS D'UNE DROITE : c'est l'angle formé par la droite et la direction de référence (qui est en général le nord géographique) de l 'extrémité initiale de la droite.
Cet angle est mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre de 0 à 400 grades.

c°/STATION : on appelle station un point géométrique défini dans l'espace en planimétrie par (x, y) et en altimétrie par (z) (altitude par rapport au niveau de la mère).

d°/ ANGLE INTERIEUR :

IV-4-2/ CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES POLYGONALES FERMEES :

Soit une polygonale fermée A,B,C,D,E,A rapportée à un repère (x,y) dont les sommets sont définis par leurs coordonnées rectangulaires (x,y) et a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 les angles intérieurs, les longueurs des cotés (AB BC CD DE EA) sont respectivement (L1 L2 L3 L4 L5) (fig. 19).

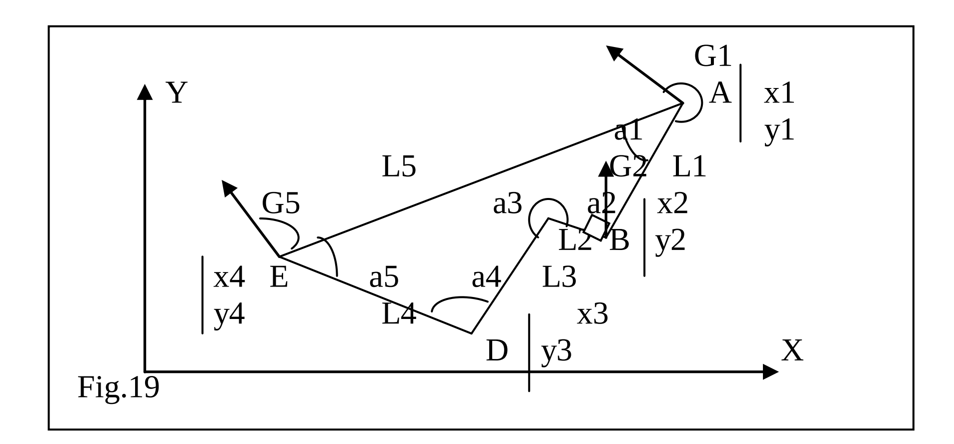


Fig.19

NB : l'unité de tous les angles sont en grade et les longueurs en (m).
On admet que la somme de tous les angles intérieurs de la polygonale est donnée par l'expression suivante :
$\sum a_1 = (n-2)200$ ……………………………(1)
avec : a_1 : angle intérieur au sommet i
n : nombre de sommet dans la polygonale

a/ CALCUL DE LA LONGUEUR D'UN COTE DE LA POLYGONALE :

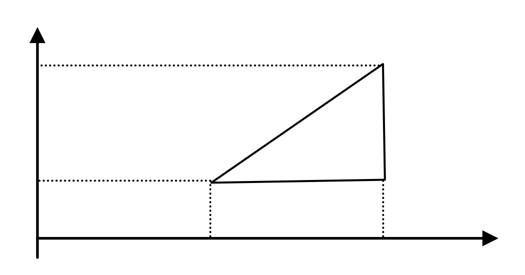
soit à calculer la longueur L1 du coté AB, connaissant les coordonnées rectangulaires des points A et B qui sont respectivement (x1, y1), (x2, y2), la longueur de AB est telle que :
$L1 = \sqrt{dx^2+dy^2}$ …………………(2) (théorème de PYTAGORE.
Avec : $dx = x2 - x1$; $dy = y2 - y1$

B/ PROJECTION D'UNE DROITE SUR LES AXES (ox, oy) (fig.19-a)

Soit une droite AB de : longueur l et de gisement G,
Quelque soit la direction de la droite de AB/ à la droite de référence, la projection de cette droite est donnée par :

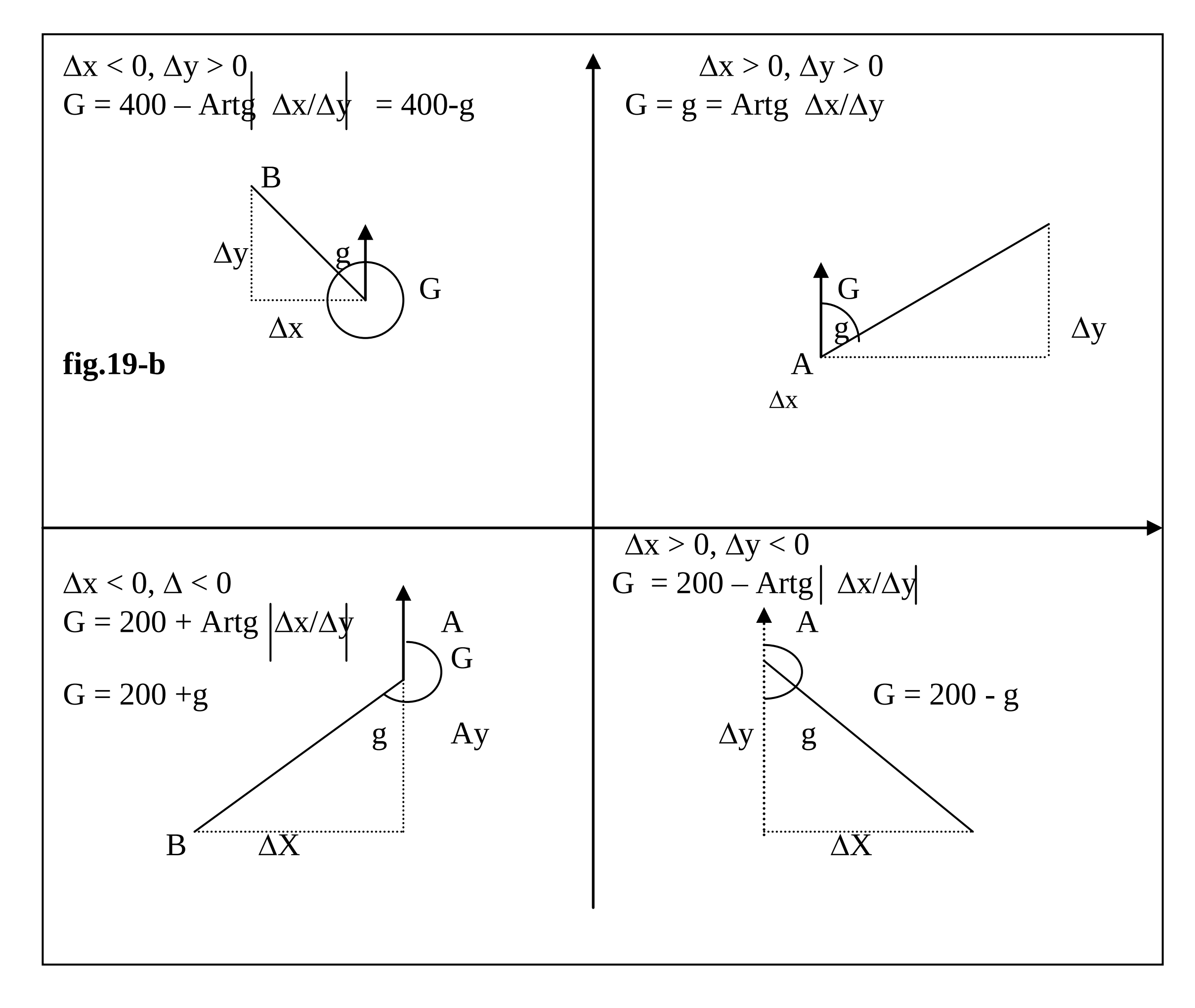
y
B
fig.19-a
y2
dy
y1
dx
x

$dx = L \sin G$ …………(3)
$dy = L \cos G$
Avec : $dx = x2 – x1$
$dy = y2 – y1$



C/ CALCUL DU GISEMENT :

Soit à déterminer le gisement d'une droite AB quelconque, dont les coordonnées des extrémités sont respectivement (x1, y1), (x2, y2).



Si on considère l'axe des y positifs est la droite référence pour le calcul du gisement. Alors le gisement de AB peut coïncider avec l'un des quatre cas présentés dans le tableau ci-contre (fig.19-b).

D°/ TRANSMISSION DES GISEMENTS :

Soit S1 et S2, deux points dont les coordonnées sont respectivement (X1, Y1), (X2, Y2) (fig.20-a)

Soit a, b, c, d, S2 formant les sommets d'une polygonale fermée dont on ignore leurs coordonnées excepté le sommet S2 : les angles intérieurs associés à ces sommets sont respectivement (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, S2) sont mesurés à l'aide des instruments appropriés (des erreurs inévitables) vérification de :
$\sum$ (n-2) 200 est indispensable

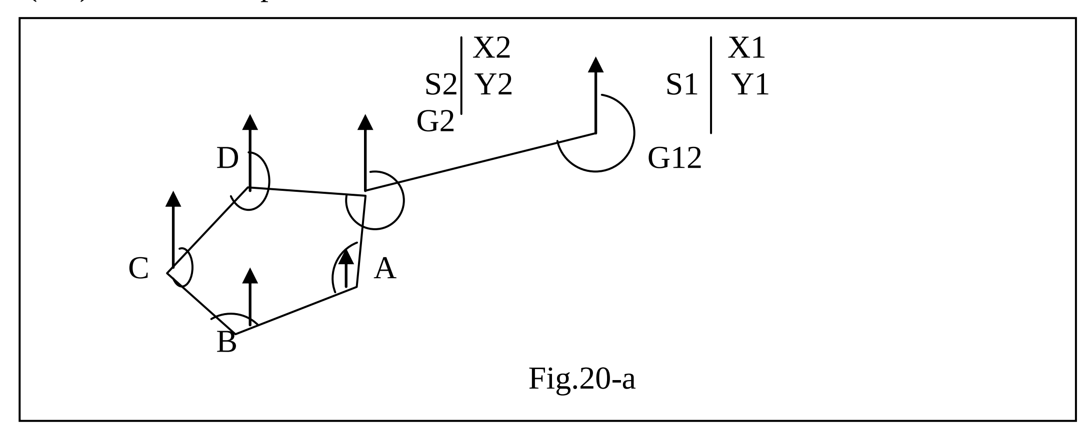


Fig.20-a

Le gisement G (S1-S2) de la droite (S1-S2) peut être déterminé à partir des coordonnées S1, S2 (voir f IV-2-4-6).
La transmission des gisements consiste à calculer le gisement G J par transmission du gisement Di est la suivante :
Le gisement G(S1, S2) connu :
G (S2,A) = G (S1, S2) + 200 - a'_0
G (A, B) = G (S1, A) + 200 – a_1
G (B, C) = G (A, B) + 200 – a_2
G (C, D) = G (B, C) + 200 – a_3
G (D, S2) = G (C, D) + 200 – a_4

Par souci de vérification, il est recommandé de s'assurer :

G (S2, A) = G (D, S2) + 200 – a_0

IV65/ INTRODUCTION AU CALCUL D'ERREUR DE MESURE :

Soit une polygonale fermée ABCDEA de coté AB, BC, CD, DE, EA et de longueur L1, L2, L3, L4, L5 (fig.20-b.
Soit (dx, dy) les projections respectives des cotés de la polygonale sur ox, oy.

1/ ECART DE FERMETURE :

connaissant les coordonnées du sommet A, on mesure successivement la longueur de chaque coté par cheminement à partir des coordonnées de départ jusqu'au coté

d'arrivée EA, l'impression des mesures des angles intérieurs dans la polygonale observée fait que les coordonnés d'arrivée de A différentes de ceux de départ.
Cette différence donne lieu à ce qu'on appelle l'écart de fermeture (Er) et qui peut être exprimé par la relation suivante :
Ecart de fermeture sur ox : $Ex = \sum dx_i$
Ecart de fermeture sur oy : $Ey = \sum dy_i$
$\sum dx_i$, $\sum dy_i$ = somme algébrique des projections successives de tous les cotés de la polygonale suivant respectivement ox, oy.
L'erreur relative observée donc sera $Er = \sqrt{E^2x + E^2y}$ …………………….(5)

Remarque :
Si les mesures sont faites avec une parfaite précision, on aura :

$$\left.\begin{array}{l}\sum dx_i = 0 \Rightarrow Ex = 0 \\ \sum dy_i = 0 \Rightarrow Ey = 0\end{array}\right| \Rightarrow Er = 0$$

2/ TOLERANCE DE L'ECART DE FERMETURE :

l'écart de fermeture linéaire peut être compensé sur l'ensemble des cotés et sommets de la polygonale, dans la mesure où cet écart reste dans la fourchette, est donné par l'expression suivante :
$\left| Er / \sum L1 \right| \leq a\sqrt{n}$ ……………………………..(6)

a : le degré de précision des appareils employés pour les mesures appelées erreur systématique en général
a : est tel que $a = 10^{-3}$
n : le nombre de sommets de la polygonale en question

NB : si l'écart de fermeture n'est pas tolérable ($Er / \sum L1 \leq a\sqrt{n}$, les mesures doivent être refaites de nouveau avec rigueur.

3/ COMPENSATION DE L'ECART DE FERMETURE :

Si l'écart de fermeture est tolérable (la relation 6 est vérifiée), on procède à la compensation de l'écart sur l'ensemble des sommets, à cet effet plusieurs méthodes d'ajustement planimétrique sont élaborées mais aucune n'est pleinement satisfaisante, alors, on adoptera la plus simple qui est “ les parallèles proportionnelles ”.
Cette méthode consiste à déplacer tous les sommets de la polygonale parallèlement à l'écart de fermeture (segment AA', fig.20-b).

Le déplacement D_1 de chaque sommet sera d'une valeur proportionnelle à l'écart de fermeture des cotés de la polygonale, cette valeur est donnée par l'expression suivante :

$D_{xi} = Ex.L_i/\sum L_i$ …………………………………..(7)

$D_{yi} = Ey.L_i/\sum L_i$

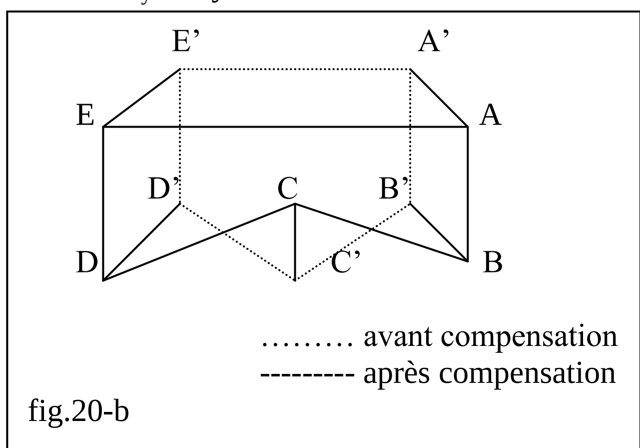


fig.20-b

Avec : Ex : écart de fermeture sur ox
Ey : écart de fermeture sur oy
$\sum L_i$: longueur totale de la polygonale
L_i : longueur du coté à compenser
D_{xi} , D_{yi} : déplacement de chaque sommet suivant ox et oy

4/ CORRECTION A APPORTER SUR LES GRANDEURS GEOMETRIQUES :

connaissant le déplacement de chaque sommet, on peut apporter des corrections sur toutes les mesures faites sur :

a/ PROJECTIONS DES COTES DE LA POLYGONALE :

$d_{xi\ corr} = d_{xi\ mes} - d_{xi}$; $d_{yi\ corr} = d_{yi\ mes} - d_{yi}$

b/ LES LONGUEURS :

$L_{i\ corr} = \sqrt{[(d_{xi\ corr})^2 + (d_{yi\ corr})^2]}$

c/ LES COORDONEES DES SOMMETS :

$X_{j\ corr} = X_{i\ corr} + d_{xi\ corr}$
$Y_{j\ corr} = Y_{i\ corr} + d_{yi\ corr}$

d/ LES GISEMENTS :

connaissant (d x corr) et (dy corr), sachant que :

$$g = \mathrm{Artg}\ \frac{d_{x\ corr}}{d_{y\ corr}}$$

on peut déterminer le gisement corrigé selon le cas de figure ds (IV-4-2-c)

e/ LES ANGLES INTERIEURS :

connaissant les gisements, les angles intérieurs peuvent être déterminés par les relations (31) permettant les transmissions des gisements (f-IV-4-2-d).

5°/ VERIFICATION DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES, IL ESR RECOMMANDE DE VERIFIER QUE :

- $\sum$ai corr = (n-2).200 a_i : angle intérieur

- $\sum dx$ corr = 0 n : nombre de sommet
- $\sum dy$ corr = 0

IV-5/ POINTS PERIPHERIQUES :

IV-5-1/ DEFINITION :

On appelle points périphériques, tous les sommets isolés, autrement dit, tous les sommets qui n'ont pas été pris en considération dans les polygonales pour la correction de leurs caractéristiques géométriques. On appelle également ANTENNE, le segment de droite défini par un point périphérique et un sommet appartenant à la polygonale (coordonnées connues et corrigées).
Dans certains cas, on peut rencontrer deux points périphériques successifs qui donnent lieu à deux antennes.

IV-5-2/ CALCUL DES POINTS PERIPHERIQUE :

Contrairement aux sommets des polygonales, où les caractéristiques sont calculées et mesurées puis corrigées, celles des points périphériques sont mesurées et calculées directement, pour la seule raison que leur implantation se fait directement à partir d'un sommet déjà corrigé en une seule visée par théodolite, l'erreur éventuelle sera sans importance, par contre les sommets de la polygonale sont implantés à partir d'un sommet précédent qui a véhiculé des erreurs depuis le premier sommet.

PRESENTATION DU POINT PERIPHERIQUE : (fig.21)

Soit une polygonale fermée dont les sommets sont A B C D E, sommets isoles, dont un point périphérique formant une antenne ED avec le sommet D de la polygonale.

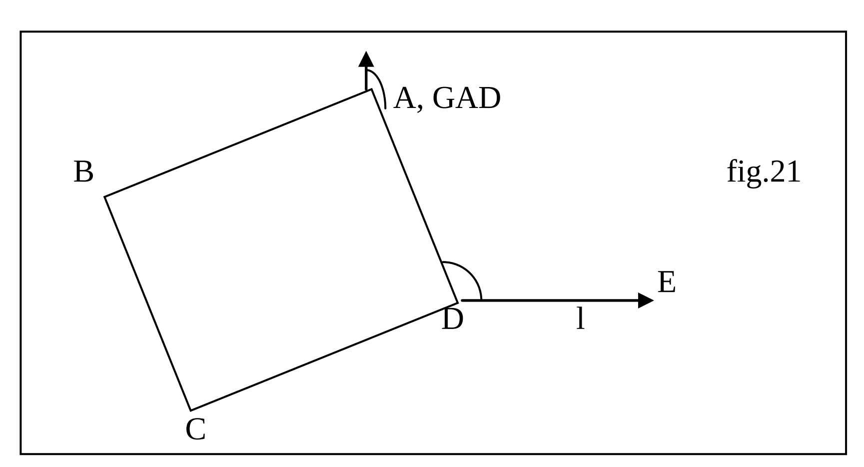


fig.21

IV-5-3/ CALCUL DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU POINT E :

Supposant que toutes les grandeurs géométriques (gisement, longueur) de la polygonale sont connues.
Pour déterminer les caractéristiques du point E, on doit procéder comme suit :

- mesurer l'angle a (grade) (fig.21)
- mesurer la longueur l (m)
- calculer le gisement de DE : $G_{DE} = G_{AD} - 200 + a$
- calculer les projections : $d_x = l \sin G_{DE}$
  $d_y = l \cos G_{DE}$
- déterminer les coordonnées rectangulaires de E

$XE = XD + d_x$
$YE = YD + d_y$ avec d_x et d_y qui sont pris en valeur algébrique.

IV-6/ METHODE DE CALCUL :

a/ LE BUT RECHERCHE PAR CES CALCULS EST LA :

- détermination des coordonnées rectangulaires corrigées de chaque sommet
- détermination des angles intérieurs corriges relatifs à chaque sommet
- détermination des longueurs corrigées de chaque coté de la polygonale

deux méthodes peuvent être utilisées pour satisfaire le but recherché :

- méthode graphique
- méthode des translations parallèle (analytique)

on a opté pour la méthode parallèle, car, elle est plus utilisée dans les bureaux d'étude à cause de la précision qu'elle offre à nos calculs

b/ EXPOSITION DE LA METHODE DE TRANSLATION PARALLELE :

1/ CONDITIONS D'APPLICATION DE LA METHODE :

- gisement de départ connu
- un et un seul sommet doit être défini dans chaque polygonale
- longueurs des cotés et angles intérieurs sont mesurées par des instruments appropries

2/ EXPOSE DE LA METHODE GRAPHIQUE :

- calculer le gisement de départ
- déterminer le gisement de chaque coté par transmission des gisements
- déterminer les projections (dx, dy) sur les axes (ox, oy) de chaque coté de la polygonale
- apporter des corrections sur chaque couple (x, y)

EXEMPLE DE CALCUL : on prend par exemple la polygonale (10, 11,13, 14), on a commencé par le calcul des angles internes et les longueurs avec la méthode des triangles et en fonction aussi des largeurs des bâtiments et ses longueurs et distances entre axe de la chaussée et le début des bâtiments.

On prend le triangle 13-14-A

On mesure les deux cotés après on calcule la diagonale et les deux angles qui restent :

L_{A-14} = 126 – 98,5 = 27,5 m

L_{13-A} = 61 m

$L_{13-14} = \sqrt{(27,5)^2 + (61)^2} = 66,91$ m

tg (14) = 61/27,5 = 2,22 => l'angle (14) = 73,04 grad

l'angle (13) = 200 – (73,04 + 100) = 26,96 grad

On va vérifier la fermeture de la polygonale :

$\sum a_1$ = 100 + 100 + 126,96 + 73,04 = 400 = (4 – 2) . 200 (vérifier)

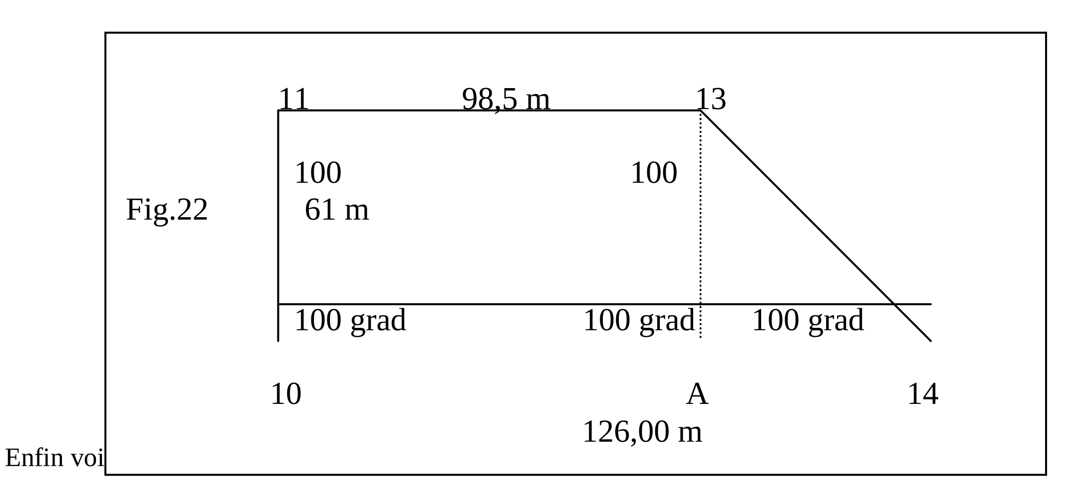


Fig.22

Enfin voi

V-1/ DEFINITION :

Le profil en long d'un réseau de voirie est une coupe longitudinale du terrain naturel sur un plan vertical portant les altitudes des points se trouvant sur l'axe du futur réseau projeté et celles du T.N correspondant.
NB : le profil en long est relatif au tracé en plan du réseau de voirie.

V-2/ TERMINOLOGIE :

- Déclivité de la voie : est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec le plan horizontal, elle prend le nom de pente pour la descente et de rampe pour la montée.
- Angles saillants ; ce sont les points hauts du profil en long (sommets)
- Angles rentrants : sont les points bas du profil en long (creux, cassis)
- Ligne rouge : le tracé du projet de voirie sur le plan.
- Points de passage : ce sont les points géométriques où la ligne rouge coupe le TN
- Distance d'arrêt : est la distance nécessaire que parcoure le véhicule avant son arrêt, lorsque le conducteur perçoit un obstacle et sa réaction pour le freinage

V-3/ REDACTION DU PROFIL EN LONG :

V-3-1/ INTRODUCTION :

Le profil en long comprend deux tracés superposés :

a/ ligne rouge : la construction de la ligne rouge doit être conforme aux recommandations exposées plus loin (voir f.V.3.3)

b/ profil T.N : s'obtient soit par un nivellement direct sur le terrain suivant la ligne rouge en plan, soit d'après les indications du plan coté (qui est notre cas).

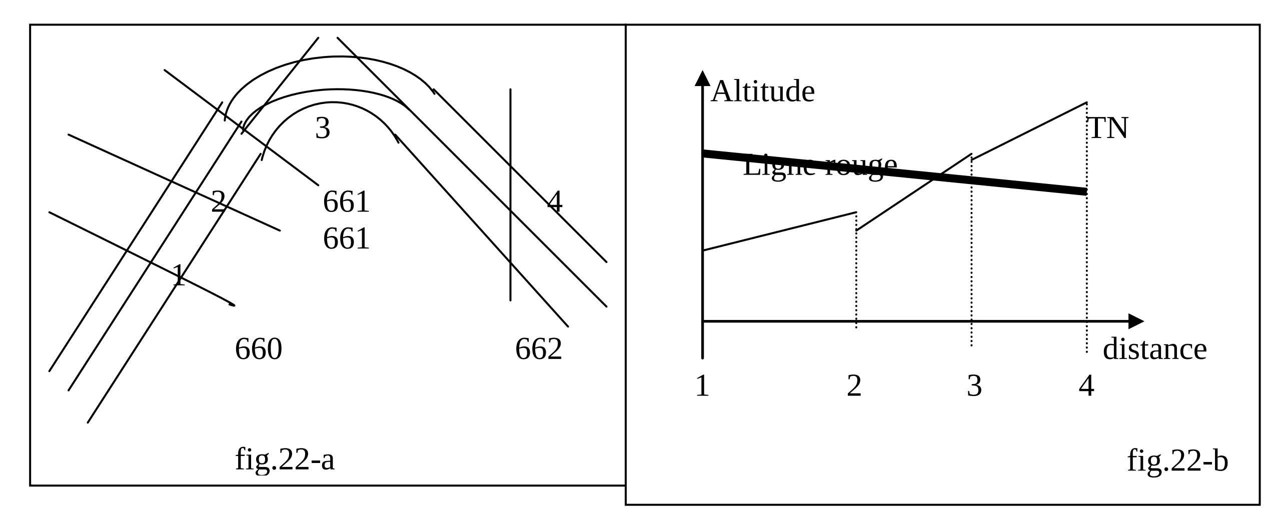


fig.22-a

fig.22-b

V-3-2/ CONSTRUCTION D'UNE LIGNE TN :

Soit à représenter en profil en long le tronçon de voirie, fig.22-a

Etapes à suivre :

Sélectionner des points sur le tracé en plan caractérisant le relief du terrain (changement brusque de pente) et la ligne rouge.

- a partir de l'origine du tronçon, reporter les points choisis sur les abscisses (distance cumulées/ à l'origine) (fig.22-b)
- sur les ordonnées on reporte les altitudes des points choisis par rapport à un plan de comparution

Ainsi, on aura déterminer un canevas de points dont leur jonction successive par des segments de droite donne l'allure du terrain naturel.

V-3-3/ CONSTRUCTION DE LA LIGNE ROUGE :

L'ajustement de la ligne rouge permet de visualiser la position de la voirie par rapport au TN.

Les recommandations générales à respecter pour la conception de la ligne rouge sont :

A/ Prévoir la ligne rouge à niveau très proche aux accès des bâtiments pour éviter l'intervention des ouvrages spéciaux (mur de soutènement, escaliers) qui nécessitent des dépenses excessives.

B/ assurer une pente minimum de 0,5 % dans les terrains de morphologie jugée plate pour permettre l'écoulement des eaux de ruissellement.

C/ dans les terrains très accidentes, assurer une pente de :

- 7 % sur les tronçons de voirie ayant des aires de stationnement
- 12 à 14 % sur les tronçons simples, et ce, pour ne pas compromettre la stabilité des véhicules en stationnement surtout pendant la période hivernale où la chaussée est glissante, et éviter les grandes vitesses d'écoulement qui entraînent des inondations, pour les eaux pluviales et l'intervention des ouvrages spéciaux (les regards de chute) pour le réseau d'assainissement.

V-4/ rayon de courbure aux changement de déclivité :

V-4-1°/ POSITION DU PROBLEME :

L'intersection de deux alignements en déclivité pourra compromettre et le confort et la sécurité des usagers.

En effet, le changement brusque de déclivité (pente rampe creux) ou (rampe pente) entraîne le changement brusque du sens de l'accélération, et ceci engendre des sensations désagréables aux usagers, en particulier la sécurité de l'usage au sommet peut être compromise si la distance de visibilité n'est pas suffisante pour freiner le véhicule avant d'atteindre un obstacle.

V-4-2/ RAYON DE RACCORDEMENT :

Le raccordement dans les creux et les sommets s'avère le seul moyen pour épargner des problèmes cites ci-dessus. Ainsi, on peut distinguer deux types de raccordements :

- Raccordements aux sommets : qui doit justifier surtout une visibilité suffisante.
- Raccordements aux creux : qui doit adoucir le changement du sens de l'accélération.

V-4-3/ CALCUL DES RAYONS DE RACCORDEMENT EN PROFIL EN LONG :

- **Données de base :**

  Vr : vitesse de référence (km/h)………………….30km/h
  I   : pente en MM
  Fr : coeff. De frottement (pneu, chaussée)………...0,18
  P=Mg : poids total du véhicule.

V-4-3-1°/ **<u>RACCORDEMENT AU SOMMET :</u>**

a°/ <u>calcul de la distance d'arrêt</u> : la sécurité impose qu'un véhicule puisse s'arrêter devant un obstacle ie, qu'il puisse d'abord le voir à une distance d'arrêt (distance de freinage + distance de réflexion).

. Distance de réflexion (dl) :
Un conducteur mettra un temps T pour intercepter un obstacle et le moment où il décide de freiner, ce temps est pris :

T= 2 secondes, donc la distance nécessaire pour intercepter un obstacle pendant 2 secondes à une vitesse Vr est :

V=Vr (km/h), dl= V.T avec T = 2.S = 0,00055 h

D'où $\boxed{dl = 0{,}55\ Vr\ (m)}$

<u>. Distance de freinage</u> : d2 : il y a lieu de distinguer trois cas :

<u>1er cas :</u> freinage en palier (fig. 23-a)

$\frac{1}{2}mV^2 <= F.P.d2 => \boxed{d2 >= Vr^2/2f.g}$

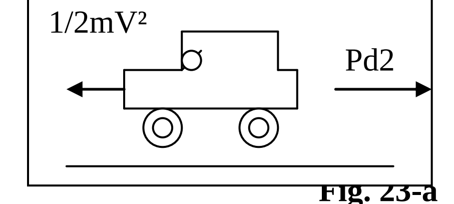


Fig. 23-a

<u>2e cas :</u> freinage en rampe. (Fig. 23-b)
a très petit : sina tga = a
Psina = Ptga + Pxi (pente m/m)

$\frac{1}{2} mV^2 <= Pfd2 + Pid2 => \boxed{d2 >= V^2/2g\ (f+i)}$

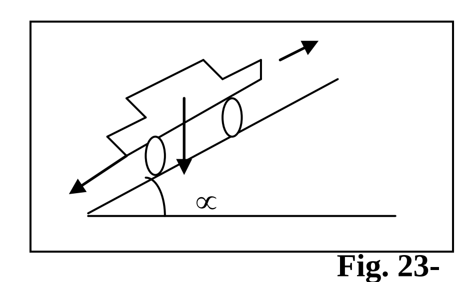
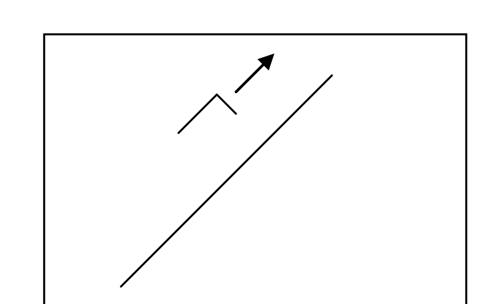


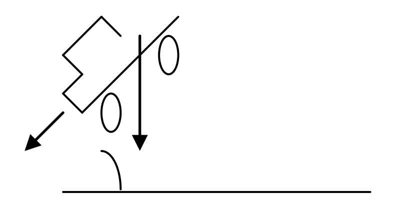
Fig. 23-

b

<u>3e cas :</u> freinage en pente. (Fig. 23-c)

$\frac{1}{2} m V^2 <= Pfd2 – Pid2 => \boxed{d2 >= V^2/2g\ (f-i)}$





En conclusion :
La distance d'arrêt d'un véhicule est : $\boxed{D = d1 + d2}$

B°/ calcul des rayons de raccordement aux sommets (fig. 24-a)

fig. 23-c

Soient deux alignements en déclivité AS, BS auxquels on veut tracer un raccordement au sommet S, la distance de visibilité (D = L1 + L2) est telle que l'usager se trouvant en point " A " doit, à une hauteur h1 (œil du conducteur), doit pouvoir repérer un obstacle qui se manifeste au point B à une hauteur h2, cette hauteur est considérée selon qu'il s'agit d'une chaussée à sens unique ou d'une chaussée à double sens.

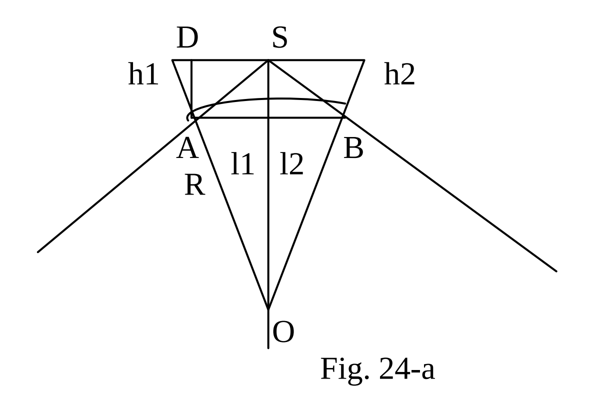


Fig. 24-a

- **chaussée à sens unique :** (h2 = 0,20 m) ; (h2 = 1 m), h2 est considéré comme étant la hauteur d'un obstacle quelconque (brouette, chat, seau) situé sur la chaussée.

On a donc :

OAC & OEC triangles rectangles,

La relation de PITAGORE s'écrit :

$(R+H1)^2 = L1^2 + R^2 \qquad R^2 + h1^2 + 2h1R = L1^2 + R^2$

$\Rightarrow$ sachant que h1h2 << R

$(R+h2)^2 = L2 + R^2 \qquad R^2 + h2^2 + 2h2R = L2^2 + R^2$

On peut écrire : $L1^2 = 2Rh1 \Rightarrow L1 = \sqrt{2Rh1}$…………… (1)

$L2^2 = 2Rh2 \Rightarrow L2 = \sqrt{2Rh2}$…………… (2)

La distance d'arrêt D étant : D = L1+L2

(1) et (2) => $D = \sqrt{2R}\,(\sqrt{h1}+\sqrt{h2}) \Rightarrow R = D^2 / 2(\sqrt{h1}+\sqrt{h2})^2$

$\boxed{R = 0{,}24\ D^2}$

- **Chaussée à double sens :** ($h1 = 1$ m) ($h2 = 1,25$), h2 est considéré comme étant la hauteur du toit du véhicule venant en sens inverse, et la distance de visibilité pour les deux véhicules.

Dans ce cas : D' = 2D.
(2) ⇔ $R = D'^2 / 2(\sqrt{h1}+\sqrt{h2})^2 \Rightarrow R = 4D^2 / 2(\sqrt{h1}+\sqrt{h2})^2$, D' = 2D.

$R = 2D^2 / 2(\sqrt{h1}+\sqrt{h2})^2$ $\qquad$ $R = 0,45\ D^2$

V-4-3-2/ raccordement aux creux (cassis) (fig.24-b)

Dans ce cas, le rayon de raccordement est lié directement à l'accélération angulaire dont la variation brusque engendre des sensations désagréables aux usagers. A cet effet, pour adoucir les creux, l'accélération angulaire doit être réduite au 1/40 de l'accélération de la pesanteur ie.

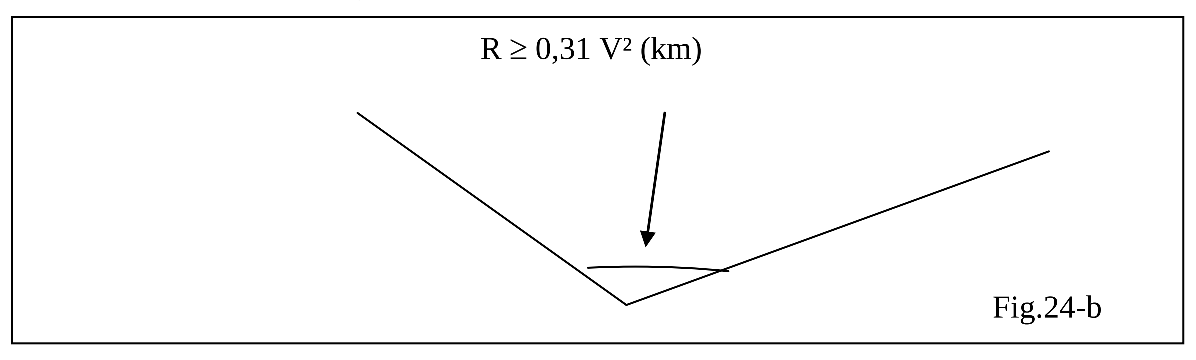


Fig.24-b

$V^2/R <= g/40$ or: $g = 10\ m/s^2$
D'où $R >= 40V^2 / g$ $\Rightarrow$ $R >= 4V^2$ (V^2 m/s)

$R >= 4V^2 / (3,6)^2 \Rightarrow$ $R >= 0,31\ V^2$ (V km/h)

V-5/ calcul du point de passage : (fig.24-c)

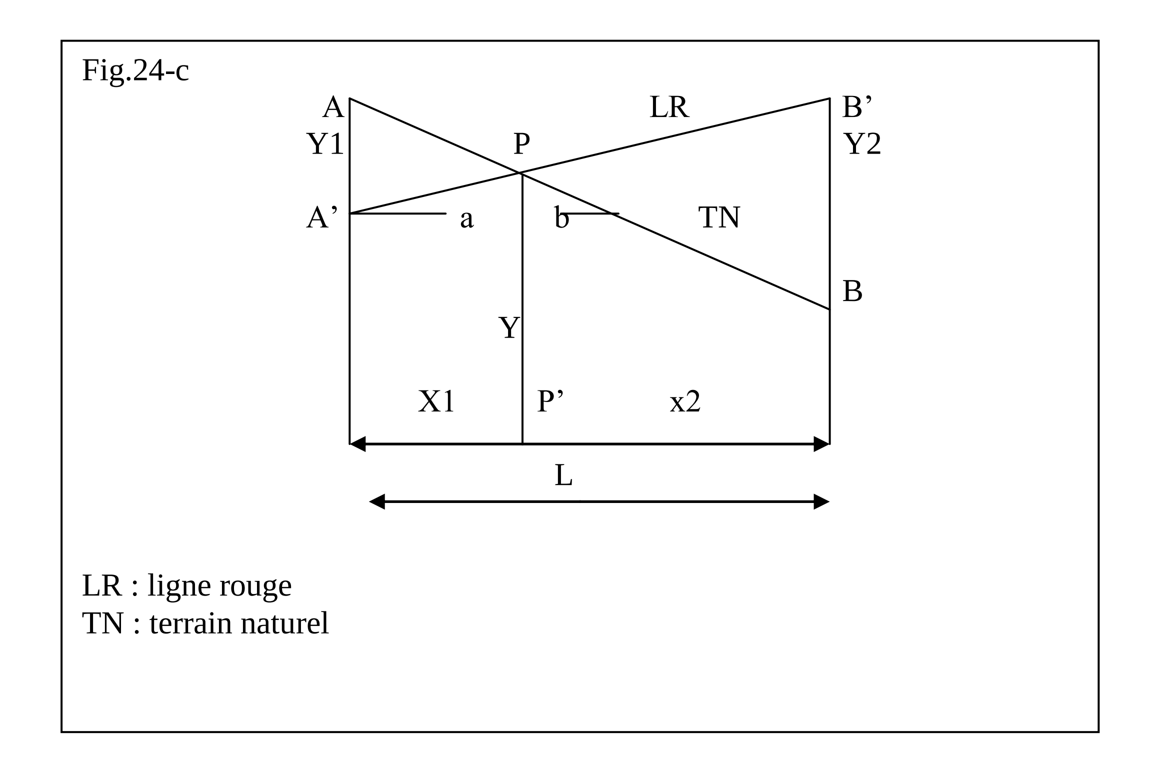
Soit à calculer les coordonnées du point de passage p (distance, altitude).

Données AA' = Y1, BB' = Y2
L, tga (pente de la ligne rouge), inconnues à déterminer : x1, x2, y.

* $x1 = y1.\ X1 / (y1+y2)$, $x2 = y2.\ X1 / (y1+y2)$

(Vérification par : $x1 + x2 = L$)

- $y = x1.\ tga$



VI-1/ Généralités :

Le profil en long établi pour un réseau de voirie ne représente que l'état des points se trouvant sur l'axe du réseau.
Cependant, la connaissance de l'état altimétrie des points situés de part et d'autre de l'axe sur une largeur allant de 10 m et plus, est très indispensable surtout pour le calcul de courbature de la voirie. De ce fait, l'établissement des profils en travers sur des points bien définis du profil en long, s'avère nécessaire pour représenter complètement les dispositifs du projet et du terrain naturel.

VII-2/ Définition :

Le profil en travers d'une route est la coupe transversale de celle-ci suivant un plan vertical à l'axe de la route (voir fig. 25).

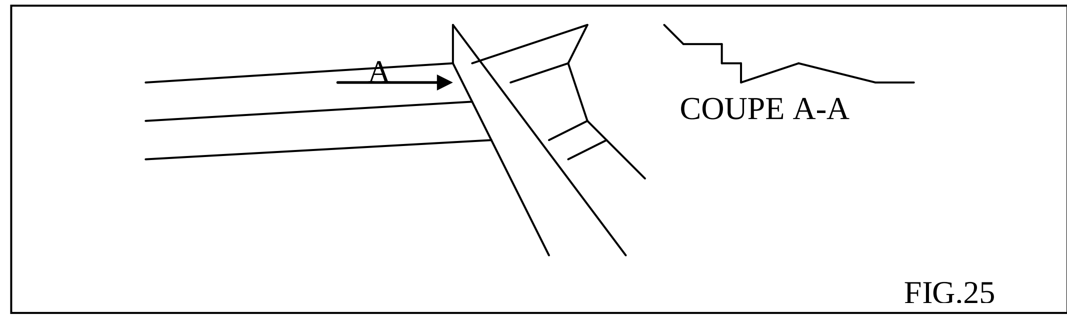
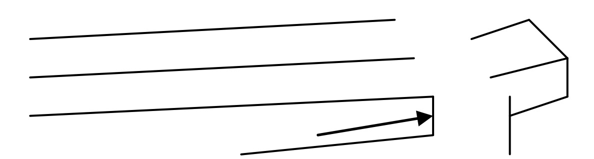


FIG.25



VII-3/ terminologie : (fig. 26)

1°/ la chaussée : est la partie ou doit s'effectuer la circulation ; pour une voirie tertiaire, elle comporte 2.1 voie.

2°/ accotement : c'est un espace qui borne la chaussée de part et d'autre, qui peut être au même niveau que la chaussée, ou bien surélevé par rapport à celle-ci.
Dans ce cas, il est appelé trottoir ; il est fréquent dans la voirie de desserte et sert à la circulation des piétons.

3°/ plate-forme : est la partie du terrain devant recevoir la chaussée et les accotements.

4°/ talus : est l'inclination qu'on doit donner au terrain de part et d'autre de la plate-forme pour éviter l'éboulement (glissement) du terrain sur la chaussée en période hivernale. Il est selon la configuration du T.N, soit déblai, soit remblai

5°/ assiette : est la partie du terrain réservée au domaine public et qu'on doit acquérir pour la réalisation du projet de voirie, celle-ci renferme en plus de l'assiette, une autre partie qui pourra servir le cas échéant à l "élargissement de la route ou à son exploitation emprise.

6°/ l'emprise : est la partie du terrain réservée au domaine public et qu'on doit acquérir pour la réalisation du projet de voirie, celle-ci renferme en plus de l'assiette, une autre partie qui pourra servir le cas échéant (à l'élargissement de la route ou à son exploitation emprise.

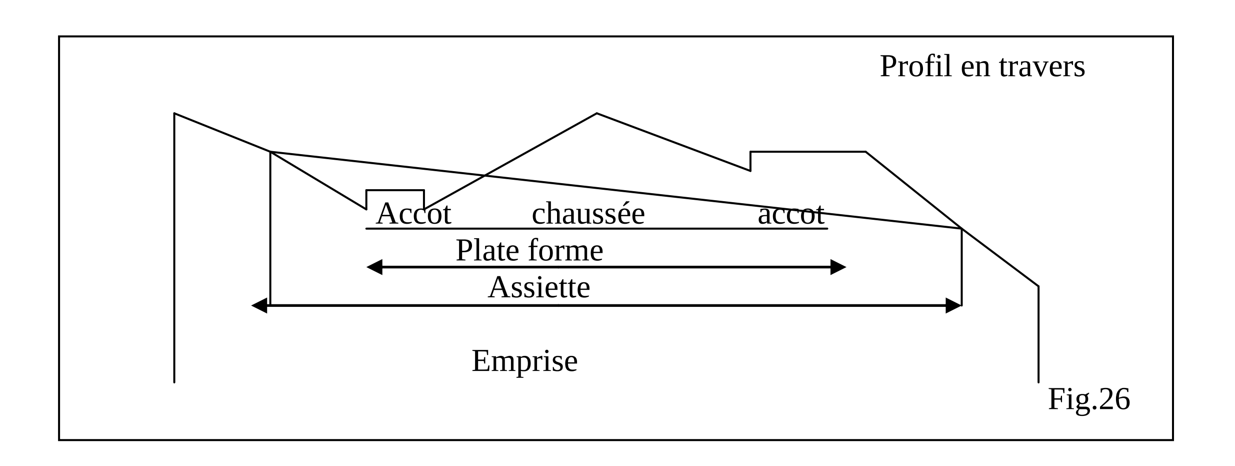


Fig.26

VI-4/ rédaction du profil en travers :

Pour établir un croquis du profil en travers, en général, on rapporte les distances et les hauteurs à la même échelle, prise (1/100).

Sur le plan vertical, à la coupe transversale de la voirie sont représentées toutes les dispositions prévues pour la voirie (chaussée, trottoir, fosse ou caniveau, talus) et la limite de chaque élément ; on fixe leurs déclivités. (fig. 27).

En ces mêmes points, on doit représenter également les côtés du terrain naturel.

Ainsi, le T.N et le projet auront délimités des surfaces hachurées D/R (fig. 27) qui seront utilisées pour le calcul de cubature de la voirie.

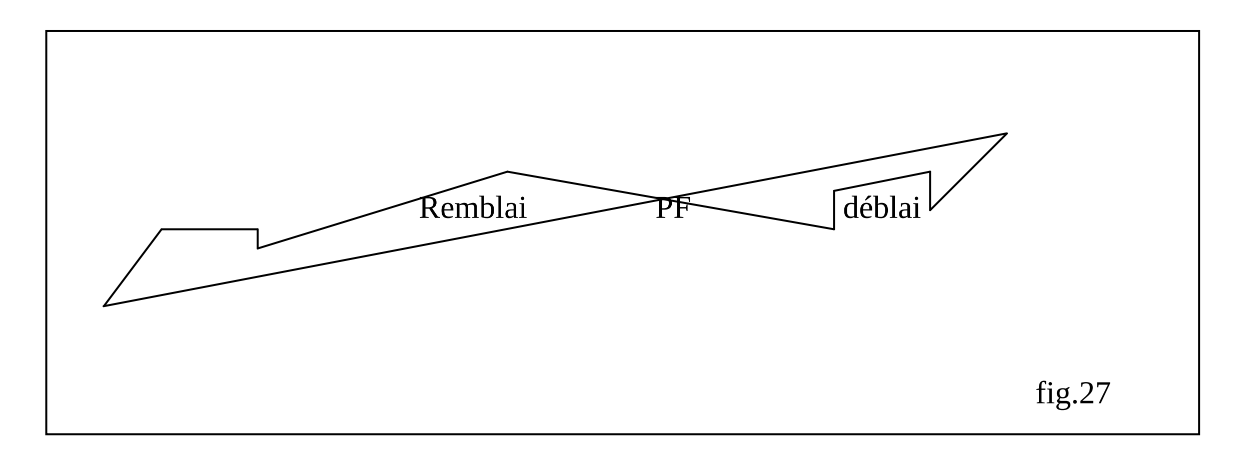


fig.27

VI-5/ profil en travers type :

Le long du tracé en plan d'un réseau de voirie en général, on rencontre des parkings, parfois des élargissements de la chaussée, ainsi que des rétrécissements ….etc.
Ceci fait, que le travers de la voirie change chaque fois qu'un pareil cas se présente.
Pour établir tous les profils en travers du réseau de voirie, il est recommandé et plus pratique de tracer un profil en travers projet pour chaque changement du travers de voirie appelé profil en travers TYPE, et le reste de PT doivent nécessairement appartenir à l'une des familles des profils en travers type.

VI-6/ Détermination des détails du PT :

a°/ Points de passage du PT :

Les points de passages sont calculés de la même méthode que celle que nous avons déjà exposé en PL.

b°/ Points de passage des crêtes et aux pieds des talus :

On pourra utiliser la même méthode que la précédente mais, on doit l'éviter, car on fera trop de calculs inutiles. Il est préférable d'employer la méthode suivante :
Connaissant " h " (différence entre ordonnée terrain projet), ainsi que les pentes P et P' respectivement du talus et du TN.
Il s'agit de calculer la distance horizontale selon les deux cas qui peuvent se présenter :

1er cas : pentes pet p' même sens. (fig.27-a)
Nous menons une horizon tale AD

On a: x = AD
AB = XP-1
R (2) – (1) : AC –AB = X (P-P')
Or: AC –AB = h
D'où: X = h/P-P'

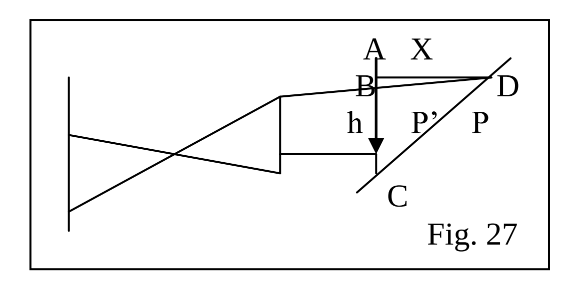


Fig. 27

2e cas : pentes P P' en sens contraire.
De la même manière, on mène une horizontale de D vers A.

AC = PX

AB = P'X

h = AC + AB

d'où: h = XP' +XP¨=> X = h / P+P'.

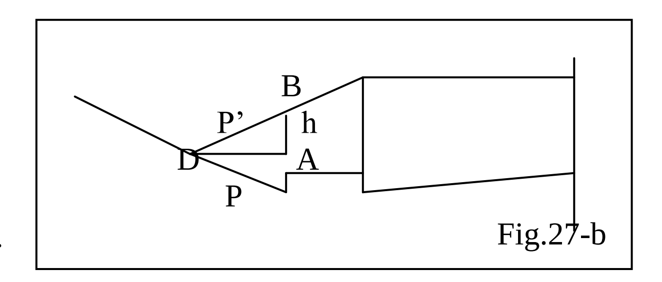


Fig.27-b

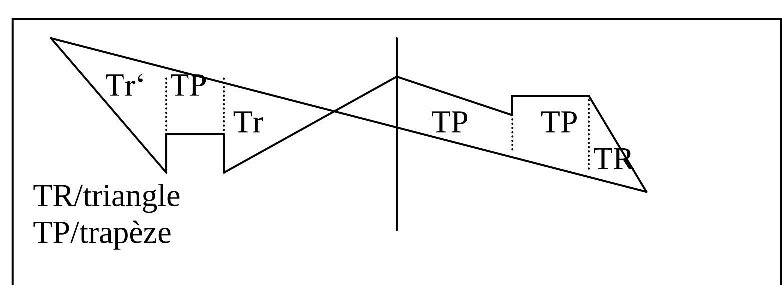
VI-7/ calcul des surfaces :

Plusieurs méthodes sont élaborées pour le calcul des surfaces des PT. Pour plus de détails, ces de méthodes, (se référer au cours de projet de tracé de terrassement, p.52). Ici, nous allons exposer les méthodes de calcul.
Les côtes projet étant définies sur les PT, si l'on joint séparément les côtes, elles vont définir des surfaces à chaque côte.
Le calcul de ces surfaces est très indispensable pour la cubature. Elles ont la propriété d'être irrégulières, mais on peut les diviser en figures géométriques simples, triangles, trapèzes, par des verticales (voir fig. 28), et dont leur évaluation est très simple.

Exemple :
Surface du trapèze TZ 1

S (TP1) = (h1 + h2) / 2. a

Surface du triangle TR :



NB : pour évaluer le cube des terres à extraire et les terres apportées, il faut absolument calculer séparément les surfaces en déblai et les surfaces en remblai pour chaque PT

VII- La chaussée :

VII-1/ Généralités :

On appelle " chaussée ", la partie de la voirie réservée à la circulation de tous les types de véhicules, elle doit faire l'objet du confort lors du déplacement des automobilistes.

Afin de jouer son rôle de confort, la chaussée d'une route doit supporter les fortes actions mécaniques des véhicules et les transmettre au sol de fondation sans qu'il ne se produise de déformations permanentes dans le corps de la chaussée à savoir :

1) le type de la chaussée
2) la nature du sol sur lequel la chaussée est fondée
3) l'action du poids des véhicules et l'effet des pneus sur la chaussée
4) la structure de la chaussée et le dimensionnement des couches

VII-2/ le type de chaussée :

La chaussée est de deux types : rigides ou souples, selon la nature et la composition de la structure on distingue :

<u>VII-2-1°/ chaussée rigide</u> : ce type de chaussée est rarement utilisé malgré qu'il est beaucoup plus simple que la chaussée souple. Elle comprend :

a) **Une couche surface rigide** : constituée par une dalle de béton qui fléchit élastiquement : cette dalle a pour objet d'absorber les efforts tangentiels horizontaux et de transmettre par répartition les charges verticales à la couche de fondation.
b) **Une couche fondation :** elle repose sur le sol naturel ; elle joue le rôle de jonction entre le corps de la chaussée et le terrain naturel, afin de permettre la continuité de la transmission et la répartition des efforts au sol naturel.

<u>VII-2-2°/ chaussée souple</u> : contrairement à la chaussée rigide, la chaussée souple est souvent utilisée dans la construction de la voirie. Elle est composée de plusieurs couches, on distingue : (fig. 29).

a) **Une couche de surface :** elle est protégée par un matériau préparé avec un liant hydrocarboné, elle assure en premier lieu l'absorption des efforts horizontaux tangentiels et de transmettre les charges verticales, sans oublier que par sa nature elle est la fermeture étanche de la chaussée.

   Cette couche peut être simple ou multiple. Dans les deux cas, la couche qui est en contact avec les roues des véhicules est appelée " couche de roulement " et les autres couches qui sont de même nature situées en dessous, s'appellent " couches de liaison ".

Dans ce qui suit, nous allons exposer certains procédés effectués sur le sol en MDS, mais seulement ceux qui intéressent les travaux routiers.

<u>1°/ essai CBR :</u> (portant sur la portance du sol) :

La portance du sol est l'aptitude de celui-ci à faire face aux efforts verticaux qui provoquent un enfoncement de la surface et qui sont extrêmement faible, cet enfoncement est appelé " déflexion ".
L'essai CBR appelé " indice portant californien " vient pour évaluer la résistance du sol aux efforts verticaux. La valeur de l'indice est déterminée à partir d'essais sur échantillons bien préparés soumis à des efforts verticaux.

CIR = max (P2, 5, P5)

(0,7   1,05)

Avec : P2, 5 ; P5 : est la pression d'enfoncement de l'échantillon respectivement 2,5 mm et 5 mm.

VII-4/ Action du poids des véhicules et effet des roues sur la chaussée :

Les efforts principaux agissant sur la structure de la chaussée sont essentiellement :

1) Les efforts verticaux à la surface de roulement (dus au poids des véhicules).
2) Les efforts horizontaux tangentiels (essentiellement aux forces de freinage)

VII-4-1*/ Efforts verticaux :

En France, et aussi en Algérie, le code de la route autorise la circulation des véhicules dont le poids maximum par roue est de 6,5 T (essieu de 13 T), afin de limiter la déflexion de la chaussée, si l'on admet que la roue d'une voiture normale est en contact avec la chaussée par un carré de 20 cm de côté, soit une surface de 400 cm² (fig.-3).

Donc $PI = \dfrac{6500}{400} = 16{,}25$ kg/cm²

Roue
30
20 CM
30
45°
FIG 3

est la pression exercée sur la surface de roulement, la MDS suppose en général, que cette pression se transmet vers les couches inférieures en se répartissant suivant des surfaces coniques dont les génératrices sont inclinées à 45° sur la verticale. A 30 cm de profondeur, les 6500 kg s'exercent sur une surface circulaire d'un rayon de 40 gm².

D'où la pression : $P2 = \dfrac{6500}{3.14\ 1600} = 1{,}3$ kg/cm²

À 60 cm de profondeur, la surface circulaire est d'un rayon de 70 cm,

D'où la pression : $P3 = \dfrac{6500}{3.14.\ 4900} = 0{,}42$ kg/cm².

En conclusion :

Les efforts verticaux agissent sur la surface de roulement engendre des pressions plus faibles sur T à mesure qu'on s'éloigne de la couche de roulement. C'est pourquoi l'épaisseur totale de la chaussée est divisée en couches successives dont la qualité mécanique (coefficient d'équivalence), la couche de base à la couche de surface TN.

VII-4-2*/ efforts horizontaux : (tangentiels)

En effet sont généralement provoqués par l'opération de freinage, ou encore les frottements de la roue avec la chaussée (accélération, décélération) sans oublier les efforts de la force centrifuge agissant transversalement à la chaussée. Les efforts horizontaux sont généralement provoqués par :

A. Les forces tangentielles longitudinales dues à l'accélération du véhicule (démarrage) ou décélération (freinage).

B. Les forces tangentielles transversales dues à la force centrifuge (lors des changements, ts de direction).
C. Les forces dynamiques dues aux vibrations des véhicules qui sont soit verticales, soit horizontales. Ces dernières se manifestent surtout par la création des tôles ondulées sur les pistes non revêtues.

VII-5/ Dimensionnement et composition de la structure de la chaussée :

1) **Chaussée souple :** l'économie est un principe très recherché dans la construction de la chaussée, afin de parvenir à ce que les matériaux qui composent cette chaussée à la limite de leur résistance mécanique sans qu'il y ait de déformation, sans faire intervenir le coefficient de sécurité.

En conclusion :

Le choix des matériaux et le dimensionnement doivent être suffisamment maximisés pour la durabilité de la chaussée et c 'est la recherche de l'optimum.

A. Dimensionnement :

Dimensionner une chaussée consiste à déterminer les épaisseurs des différentes couches constituant cette chaussée. On est loin de donner satisfaction au dimensionnement théorique de la chaussée.
Actuellement, on distingue trois méthodes de calcul :

1. La méthode découlant des essais AASHO.
2. La méthode des indices groupes.
3. La méthode CBR qui utilise les résultats de l'essai CBR.

- la méthode découlant des essais 'AASHO', consiste à déterminer :

*** -3/ Détermination de la classe des sols :**
La résistance d'un sol à la charge à laquelle est soumis varie selon sa nature.
Ainsi, on a établi la classe des sols " S " selon leur résistance, ces classes sont portées sur le tableau suivant :

Classe	Nature du sol
SI	Sol argileux, limon, craie, sable argileux.
S2	Sable limoneux, grave argileuse.
S3	Sable propre, grave limoneuse.
S4	Grave limoneux bien gradué, Grave propre mal gradué, rocher.

***-4/ Détermination de l 'épaisseur équivalente selon S et T :**

On en déduit le tableau suivant paré des études expérimentales qui donneront les épaisseurs équivalentes en fonction du trafic et de la nature du sol.

Epaisseur	T1	T2	T3	T4
S1	1,1 – 0,9	0,95 – 0,75	0,7 – 0,6	0,6 – 0,5
S2	0,95 – 0,75	0,75 – 0,6	0,6 – 0,45	0,45 – 0,35
S3	0,75 – 0,65	0,65 – 0,5	0,5 – 0,4	0,40 – 0,30
S4	0,60 – 0,50	0,50 – 0,40	0,40 – 0,30	0,30 – 0,20

***- 5/ Détermination des épaisseurs des différentes couches :**

Connaissant l 'épaisseur équivalente au moyen de la classe du trafic et la classe du sol, déterminer les épaisseurs des couches des matériaux.
Soit D l'épaisseur totale de la chaussée lue dans le tableau ci-dessus, on aura donc :

$$D = \sum a_i h_i$$

Avec : ai : coefficient d'équivalence de la couche i
hi : épaisseur de la couche i

Application :

- trafic journalier 20000 veh / j => T3
- nature du sol craie et marnes => S1

T3} => D = 0,70 – 0,60 (m)
S1}

On prévoit :
Une couche de béton bitumineux d'épaisseur :
H1 a = 2
Une couche de grave ciment d'épaisseur :
H2 a = 1,5

Une couche de grave naturel d'épaisseur :
H3 a = 0, 75
On prend D = 0, 75 m
$D = \sum a_i h_i$
$D = a_1h_1 + a_2h_2 + a_3h_3$
$0,7 = 2h_1 + 1,5h_2 + 0,75h_3$
Si $h_1 = 0,04$ m} => $h \approx 0,28$
$h_2 = 0,30$ m}

Donc l'épaisseur réelle de la chaussée est :

D' = 0,04 + 0,30 + 0,28 => D' = 0,62 m

- **Méthode des indices de groupes :**

C'est la méthode empirique qui est basée sur l'essai de consistance. Elle consiste à déterminer l'épaisseur à attribuer à une chaussée en fonction des caractéristiques du sol et du trafic.

1) **Indice de groupe** : on définit l'indice du groupe " Ig " d'un sol comme étant la variation de la consistance de ce sol, il est donné par la relation suivante :

Ig = 0,2 a + 0,005a.c + 0,001b.d

Avec :

a : fraction de % des grains qui passent au tamis 74µ entre 35 et 75 %.
b : fraction de % des grains qui passent au tamis de 74µ entre 15 et 55 %
c : % de LL entre 40 et 60
d : % de LL entre 10 et 30

NB : indice de groupe Ig varie entre 0 et 20, plus Ig est grand, faible est la consistance.

2) classe du trafic :

Le classement du trafic dans cette méthode diffère de la première, car elle se contente de définir trois classes de trafic qui sont :

- circulation lourde
- circulation moyenne
- circulation légère.

3) Détermination de l'épaisseur de la chaussée :

Connaissant l'indice du groupe d'un sol ainsi que la classe, déterminer l 'épaisseur totale de la chaussée par l'utilisation de l'abaque ci-dessous. (Fig.31)

En portant sur les abscisses d'un repère les valeurs de Ig (0 à 20), les ordonnées, les épaisseurs éventuelles des chaussées limitées à Im. Ainsi qu'en représentant les courbes des classes de trafic, on peut lire, connaissant Ig et la classe du trafic, l'épaisseur de la chaussée.

Exemple :

Pour un sol de moyenne consistance Ig = 10 et solliciter à une circulation moyenne courbe (2), l'épaisseur sera telle que :

D = 55 cm. (Fig.31)

(1) : circulation lourde
(2) : circulation moyenne
(3) : circulation légère

- la méthode CBR :

L'indice CBR caractérisant la portance du sol (voir ƒVII-3-) est utilisé également pour déterminer l'épaisseur de la chaussée par la relation suivante :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I + 5} \qquad (1)$$

Avec e : épaisseur totale de la chaussée (cm)
P : charge maximale par roue (T) en général, p = 6,5 T
I : indice CBR (fonction du type de sol varie de 1 à 150)
A : valeur de I.

90 à 150 (pierres cassées)
80à 120 (tout-venant de carrière)
40 à 80 (fondation en gravier)
10 à 40 (remblai graveleux)
5 à 10 (argile sableuse)
1 à 5 (argile plastique)

Calcul des épaisseurs des différentes couches par la méthode CBR :

Connaissant l'indice CBR " I ", on peut déterminer l'épaisseur totale de la chaussée en fixant les épaisseurs de chaque couche, et selon le matériau choisit par chaque couche qui correspond à un coefficient d'équivalence, il est possible de connaître l'épaisseur équivalente de chaque couche, et également l'épaisseur équivalente totale.

- **Etapes à suivre pour la détermination des épaisseurs :**

- Fixer l'indice CBR relatif à la nature du sol.
- Calculer l'épaisseur totale de la chaussée par la relation (1) ci-dessus
- Si la chaussée " N " coche, on doit fixer l'épaisseur équivalente (N-1) couche.
- On déduit l'épaisseur de la énième coche par la relation suivante : $e = \sum ei$.

D'où : l'épaisseur équivalente totale $eeq = \sum ai\ ei$.

Avec : eeq : épaisseur équivalente
ai : coeff. D'équivalence de la couche i
ei : l'épaisseur de la couche réelle.

Une condition doit être satisfaite, qui est :

$$E\ eq > E\ réel$$

Nota : pour les parkings, la résistance généralement réduite à 80 % du fait que le trafic Y est pratiquement très faible, pour cela, on est amené à réduire les épaisseurs réelles de chaque couche composant le parking à 80 % de l'épaisseur de la chaussée.
Le tableau ci-après donne les épaisseurs optimales de la chaussée.

Epaisseur Classe	< 20	20 à 30	30 à 40	40 à 50	> 50
S1					
S2					
S3					
S4					

Epaisseur acceptable

Surdimensionnement

Sous dimensionnement

I-1/ Tracé en plan :
A°/ considérations générales :

- vitesse de référence …………………..Vr = 30km/h
- coefficient de frottement ……………...Fr = 0,18
- dévers dans les virages ……………. sinx = 0,02

B°/ aperçu général sur le réseau de la voirie :

Les 9,27 ha constituant le site du projet sont sillonnés par un réseau de voirie de longueur l = 2633,72 m (soit 2,63 km).

C°/ présentation du réseau :

Les 425 logements, commerces, équipements et lotissement prévus à AIN BESSAM sont desservis par un réseau de voirie qui est raccordé :

- à des extensions de même ordre que ce projet.

D°/ calcul des rayons de raccordement en plan :

Il s'agit d'une voie de desserte (voirie tertiaire), la vitesse de référence est limitée à 30 km/h et les dévers prévus dans les virages sont de 2 % sachant que les frottements considérés, est le cas où la chaussée est mouillée, et les pneus sont lisses, dans ce cas, le coefficient de frottement fr est pris tel que : fr = 0,18. Donc, le rayon minimum doit être :

$$Rm = \frac{Vr^2}{g\,(\sin x + fr)}$$

avec
Vr = 8,33 m/s
g = 10 m/s² (accélération de la pesanteur)
sinx = 0,02 (dévers dans les virages)
fr = 0,18 (coefficient de frottement)

$$\text{D'où : } Rm = \frac{(8,33)^2}{10.\,(0,02 + 0,18)} \Rightarrow Rm = 34,69 \text{ m}$$

Remarque : il est permis de considérer un rayon minimum absolu (Rma) tel que Rma = 2/3Rm, lorsque des contraintes techniques ou naturelles se présentent.
Rm >= 34,69 m => Rma = 2/3 Rm
D'où Rma = 2/3 (34,69) = 23,13 m.

Raccordement aux carrefours :

Dans le souci de satisfaire les conditions de l'aménagement des carrefours surtout la visibilité, nous avons utilisé des rayons de raccordement allant de 6 à 9 m.

- **largeur de la chaussée :**

Le travers de la voirie de point de vue largeur est prévu comme suit :

- 2 voies de circulation ………………………..2 , 3 m.
- trottoir de part et d'autre de la voirie ………..1,5, 1,5 m.
- parking en bataille …………………………..2,5 , 5 m.

F/ stationnement :

Vu l'aspect du terrain et longueur totale de la voirie, on a fixé la densité de place par logement à d = 08 places par logement. Avec ce coefficient, on est parvenu à implanter (341) places en batailles et 57 places pour les équipements.

G°/ carrefours : la disposition des alignements de la voirie en question donne lieu à 9 carrefours distincts, qui sont donnés par les tableaux suivants :

H°/ bordure des trottoirs et caniveaux : afin de faire face à l'envahissement des trottoirs par les véhicules, un obstacle physique est nécessaire, qui est matérialisé par des bordures de type T2, séparant la chaussée du trottoir et pour la collecte des eaux de ruissellement, on a prévu des bordures, selon le lieu considéré :

- Caniveau interposé entre trottoir et chaussée (bordure T2 – C2)
- Caniveau interposé entre chaussée et parking (bordure CC2)

II-2/ piquetage : l'implantation du réseau de la voirie concernant le projet en question a été effectué suivant le plan du piquetage dont les calculs ont été établis par la méthode graphique.

II-3/ profil en long et profil en travers : le réseau de voirie implanté à AIN BESSAM est projeté selon (13) tronçons de profil en long (voir planches), totalisant 178 profils en travers (voir annexe).

Conclusion :

Sachant que la longueur totale de la voirie est l = 2633,72 m et le nombre total des profil en travers est de 178 profil en travers, on peut conclure que la distance moyenne " dm " prise entre deux profils en travers successifs est :

$$dm = \frac{2633,72}{178} = \frac{L}{n} \Rightarrow dm = 14,80 \text{ m.}$$

A°/ conception des profils en long : vu l'aspect topographique du terrain qui est réputé moyennement accidenté, le tracé de la ligne rouge est conçu sur la base des 2 critères suivants:

- épouser le terrain naturel afin de réduire au maximum les mouvements de terre
- trouver un compromis entre la ligne rouge et les plates formes des bâtiments, afin de rendre l'accès aux bâtiments plus pratique.

En conséquence, les pentes des alignements varient de 0,5 à 7 %, il est à signaler que les avantages acquis par les critères cités ci-dessus sont au détriment de l'assainissement.

B°/ conception des profils en travers :

Sur la totalité des profils en travers, on distingue plusieurs catégories :

- profils en travers avec des parkings
- profils en travers avec parking sur la droite
- profils en travers avec parking sur la gauche
- profils en travers sans parking

- **exemple de rédaction d'un profil en travers :**

- on prend la cote projet directement du profil en long.
- On détermine les cotes (projet et TN) au droit de chaque élément de la chaussée (trottoir parking), de part et d'autre du trottoir :
- La plate forme est extrapolée par un talus de pente 3/2 formant un talus (en remblai à gauche et en déblai à droite) (qui est conditionne par l'allure du TN).

- Le TN est également extrapole pour indiquer les mouvements des terres nécessaires pour les talus en question.

- **calcul des surfaces :** on délimite par chaque élément constituant le travers de la chausse à partir des cotes TN et cotes terrassements.

N.B :

- cote terrassement = cote projet – épaisseur du corps de la chausse
- épaisseur de la terre végétale TV = 0,25 m est considérée pour le calcul des surfaces.
- Rajouter la TV pour les hauteurs en remblai
- Soustraire la TV pour les hauteurs en déblai

I-4/ la chaussée : le type de la chaussée qui est souvent utilise est la chaussée souple, qui est naturellement suffisamment résistante pour supporter le trafic journalier, selon la nature du sol sur lequel elle est reçue, à cet effet la méthode CBR fournit des résultats plus approches aux exigences d'une chaussée souhaitée.

Dimensionnement :

- calcul de l'épaisseur de la chaussée : conformément à la relation I-VII-5, l'épaisseur totale calculée de la chausse est donnée par :

$$e = \frac{100+150\sqrt{p}}{I+5}$$

Sachant que : p = 6,5 tonnes (charge par roue)
I = 7 (indice CBR)
e = épaisseur de la chaussée.

$$E = \frac{100+150\sqrt{6,5}}{7+5} \Rightarrow e = 40,20$$

D'après l'étude géotechnique faite par (L.N.H.C), l'indice CBR le plus défavorable donné par les essais est égal à 7, pour les charges on adaptera celles normalisées pour le code de la route, soit l'essieu de 13 tonnes, ce qui donne une charge de 6,5 tonnes /roue.

Choix des épaisseurs des différentes couches :

D'emblée, il faut vérifier s'il y a nécessite d'ajouter une sous-couche drainant, pour cela, on doit vérifier la relation suivante : 5d (85) support < d (15) fondation.
D'après la courbe granulométrique du sol, on a les résultats suivants :
D85 support = 0,05 mm
Avec d85 : dimension du tamis laissant passer 85 % du sol.
Pour le matériau de fondation : d15 = 1,2 mm avec d15 dimension du tamis laissant passer 15 % du matériau.

5 d85 = 5. 0,05 = 0,25 mm
d15 = 1,2 mm — d'où 0,25 mm< 1,2 mm

La relation est vérifiée, donc l'introduction d'une couche draînante s'avère nécessaire, on prévoit donc une sous-couche en sable, d'épaisseur 10 cm, dont la granulométrie doit vérifier la relation suivante :

4,5 d15 support < d15 sous-couche < 4,5 d85 support
Cette couche anti-contaminante évite les remontées capillaires et protége la couche de fondation.
La structure finale de la chaussée est donnée par le tableau suivant : (épaisseur en cm)

Couche	matériaux	Coefficient d'équivalence	Epaisseurs réelles	Epaisseurs équivalentes
Roulement	Béton bitumineux	2,00	6	12
Base	Concasse 0/40	1,00	14	14
Fondation	Tout venant 0/60	0,75	20	15
Sous-couche	Sable	0,50	10	5
e= e1+e2+e3+e4 →			50	46

- l'épaisseur équivalente de la chaussée est de 46 cm
- l'épaisseur réelle de la chaussée est de 50 cm

Vérification :

e équivalente = 46 cm > e min = 40,20 cm

La condition est bien vérifiée, on retient donc les épaisseurs suivantes :

e = 50 cm

CHAP.II
TERRASSEMENTS GENERAUX

<u>Terrassements généraux :</u>

<u>Généralités :</u>
Le terrain tel qu'il se trouve dans la nature n'est pas souvent apte à recevoir l'emprise d'une opération de construction notamment si celle-ci est d'une grande envergure ; car les ondulations du terrain naturel modelées spontanément par les phénomènes naturels (vent, pluie) ne correspondent pas à la géométrie conçue pour la construction en question, en outre le bon sol sur lequel la construction devrait se tenir stable est loin d'être rencontrée sur la surface du terrain naturel.
De ce fait, la modification du terrain naturel pour l'adopter à la construction s'avère nécessaire même inévitable, l'opération qui a pour souci cette modification, n s'appelle " terrassement généraux ".

I-1/ définition :
Les terrassements généraux sont l'ensemble des travaux qui ont pour objet de mettre le terrain naturel en état de recevoir les bâtiments et les différents réseaux publics, compte tenu de leur importance dans une opération d'urbanisation.

I-2/ terminologie :

a°/ déblaiement : c'est l'opération qui consiste à abaisser le niveau altimétrique du terrain, en vue de réaliser une fouille, une tranchée,….etc.
Déblai : c'est le nom qui désigne les terres provenant de l'excavation.

b°/ remblaiement : est l'opération opposée à la première, elle consiste à apporter des terres en vue de combler un vide, ou former un massif de terre.

Remblai : est le nom qui désigne les terres à apporter pour l'opération de remblaiement.

c°/ cote plate forme (C.P.F) : est le niveau altimétrique à donner au terrain naturel sur une surface définie par l'une des opérations de déblaiement ou de remblaiement.

D°/ dépôt : c'est l'endroit où on doit déposer les terres résultant d'une opération de déblaiement.

E°/ emprunt : c'est l'endroit où on doit apporter les terres afin de réaliser un remblaiement.

F°/ foisonnement : c'est une propriété que possède les sols d'augmenter le volume lorsqu'on les met en mouvement, il se produit par la suite de décompression des matériaux constituant le sol des vides partiels entre les particules plus ou moins grosses.

Lorsqu'on remet en place les sols remanies, ils ne reprennent par leur volume initial qu'ils occupaient, ceci est caractérisé par la variation de l'indice des vides " e " qui est donne par l'expression suivante :

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

avec Vv : volume des vides
Vs : volume des solides

Par suite, la variation du volume total Vo (avant déblaiement) qui devient V1 (après déblaiement) est donnée par la relation suivante :

$V1 = Vo\,(1 + 1/m)$ avec : 1/m = taux d'augmentation de volume

Le foisonnement des sols est très variable suivant sa nature, il varie de 10 % à 40 % environ, on peut compter en moyenne 15 % à 25 % pour les argiles, en particulier le coefficient 1/m varie de 20 % à 30 %.

H°/ tassement : est la propriété que possède le sol de diminuer de volume par l'action des phénomènes naturels dans le temps ou par compactage direct à l'aide des engins mécaniques appropriés.
Le tassement ultérieur des sols fraîchement remues et remis en place, fait diminuer leur volume de 15 % à 20 % environ et d'une manière générale, les remblais se tassent naturellement à long terme sous l'effet de leurs poids, des intempéries (eau, pluie) et des charges extérieures (circulation des véhicules).

Le taux des tassements varie de 15 à 20 %.

Exemple : soient le coefficient de foisonnement kf = 0,25
Le coefficient de tassement ke = 0,20
Déblai en place : pour un volume géométrique de 1 m3, on obtient le volume par :

1) foisonnement : V1 = 1(1+0,25) => V1 = 1,25 m3
2) tassement : V2 = V1 (1-0,2) => V2 = 1 m3

II/ approche globale des travaux de terrassement :
Pour exécuter un projet de terrassement dans un site destine à l'urbanisation, il est raisonnable de décomposer cette tache en trois phases principales :

II-1/ differentes phases des travaux de terrassement :

- **phase I :** élaboration des documents nécessaires et indispensables tels que la représentation du relief du terrain en question sur un levé topographique sans négliger aucun détail qui pourra servir d'information.

Le plan de masse sur lequel se trouve tous les détails concernant le futur projet (plan d'implantation des bâtiments et de la voirie) sans oublier l'étude géotechnique du sol présentée sur un rapport complet du sol.
Il est à signaler que la fidélité des informations fournies par ces documents est déterminante pour la qualité d'exécution de la deuxième phase.

Phase II : le but de cette phase (qui fera en partie l'objet de chapitre) est de permettre la meilleur prévision possible des conditions de réalisations, les difficultés techniques, qualité des terres à emprunter pour les remblais, et à mettre en dépôt pour les déblais, le matériel approprie à engager et le coût qui revient à cette opération.

Une grande précision dans cette étude n'est pas exigée par ailleurs, les méthodes utilisées pour les calculs donnent généralement des résultats approximatifs mais ainsi il ne faut pas en abuser.

Phase III : le but essentiel de cette phase consiste à réaliser des emprises devant recevoir les ouvrages pour les opérations d'urbanisation ou les travaux des terrassements généraux sont réduits aux taches suivantes :

- établissement des plates formes au droit des bâtiments et chaussée
- creusement des tranchées pour l'implantation des réseaux publics (assainissement, AEP…etc.)
- soutènement des terres par des talus ou par des ouvrages spéciaux qui doivent être éviter
- il est à signaler que toutes les taches de troisième phase doivent être réalisées selon les indications fournies par les plans d'exécution elaborés dans la deuxième phase.

II-2/ position du problème : chaque chantier possède des problèmes et des difficultés techniques spécifiques, ainsi toutes les solutions techniques apportées aux différents problèmes ne peuvent être generalisées.

Les objectifs des terrassements étant fixes dans la troisième phase du paragraphe (II-1), il faut les atteindre de la manière la plus simple possible, mais des exceptions à cette règle ne sont pas à écarter:

a) le bâtiment peut comporter un sous-sol sur toute ou une partie de sa surface qui nécessite une fouille en pleine masse importante.
b) Pour les projets linéaires, même si le terrain présente une légère pente peu appréciable a l'œil nu, la dénivellation peut être très importante sur une longue distance.
c) Lorsque la qualité du sol est très mauvaise et qui ne peut pas être réutilisé, ou difficile à compacter, qui engendre des mouvements de terre très importants.
d) Dans les terrains qui présentent une morphologie très accidentée, afin de limiter les mouvements des terres, les décrochements de niveau sont parfois inévitables, ceci fait appel au soutènement des terres par les talus lorsque ces décrochements sont minimes, dans le cas contraire, on a recours à des ouvrages spéciaux (murs de soutènement) qui sont onéreux, surtout s'ils s'étendent sur une longue distance.
e) Si le sol est utilisable, il faut penser à l'équilibre du déblai – remblai pour ne pas avoir recours à l'emprunt ou à mettre en dépôt des terres, car ceci nécessite des dépenses non négligeables.

II-3/ études des travaux de terrassement : (mouvement des terres)

Comme nous l'avons signaler précédemment, l'objet de ce chapitre fait partie de la deuxième phase (voir II-1), c'est la cubature des terrasses, c'est à dire déterminer les quantités en volume des terres à extraire et à emprunter séparément pour mettre le terrain en état de recevoir la construction moyennant les différentes méthodes de calculs.

Dans ce qui suit, nous allons exposer les méthodes de choix des cotes plates formes (CFP), ainsi que du calcul du volume des terres (déblais – remblais) revenant séparément au bâtiment et à la voirie compte tenu de leur importance dans un chantier des travaux de terrassement.

III/ cubature des terrasses :

III-1/ décapage de la terre végétale : (nettoyage)

Il est évident, avant d'entamer les travaux de terrassement, de procéder au nettoyage du sol naturel, cette tache consiste à débarrasser le terrain de toute la terre végétale, des détritus, des matières organiques, des arbres et arbustes qui pourraient s'y trouver, le terrain est mis à nu jusqu'à la couche saine.

N.B : la mise en réserve de la terre végétale est recommandée car elle peut servir ulterieurement pour la conception des espaces verts, aires de jeu…..etc.

La couche de terre végétale est à décaper selon la nature du sol constituant le site, son epaisseur varie entre 20 et 40 cm, elle est quantifiée de la manière suivante:

III-1-1/ pour les bâtiments, la terre végétale à décaper pour préparer les plates formes des bâtiments quantifie au m3.
Le volume approximatif de la (TV) (fig.1) est égal à la surface en plan du bâtiment déborde de 1,5 à 2 m de part et d'autre, multipliée par l'épaisseur de la couche qui varie de 20 à 40 cm.

$$V_{tv} = a.b.e$$

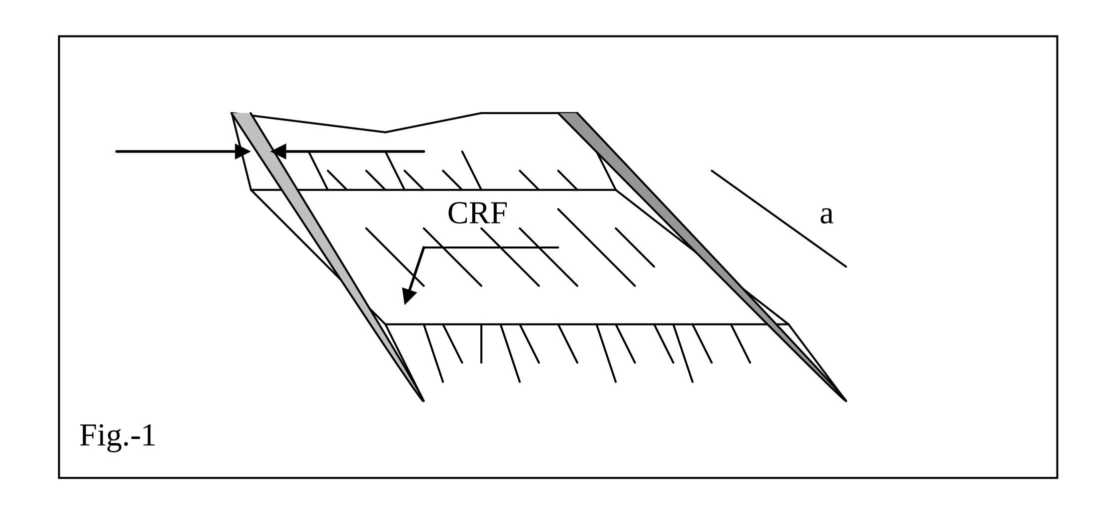


Fig.-1

N.B : pour obtenir une meilleur précision du volume, il faut utiliser la méthode des triangles (III –2-3-2 avec H = e)

III –1-2/ pour la voirie qui est un projet linéaire, la terre végétale est quantifiée également en (m3), elle est calculée sur les profils en travers.
Soit à déterminer le volume de la terre végétale revenant au profil en travers de la (fig. 2), sachant que “ X ” est la distance partielle et P1 P2 P3 P4 P5 P6 sont les pentes du terrain naturel correspondant aux distances partielles respectivement (X1XX2X3X4X5X6)

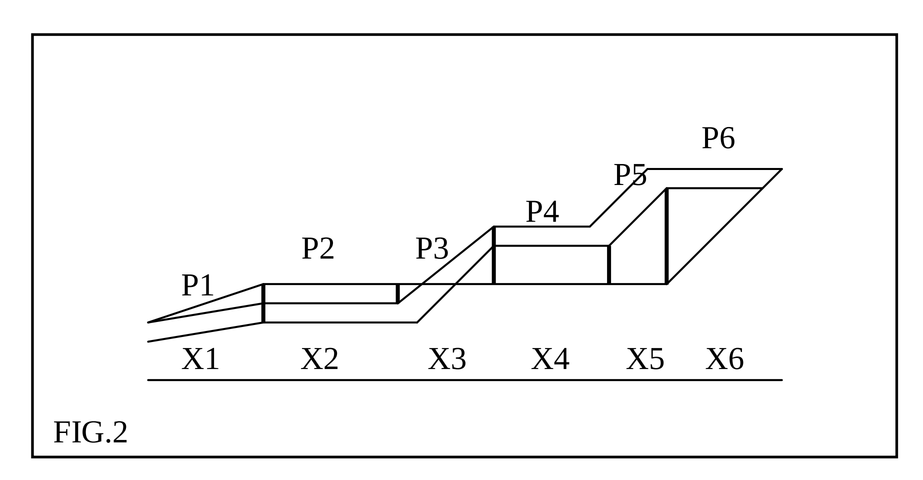


FIG.2

Le volume total “ Vtv ” de la terre végétale revenant à ce profil est donne par l’expression suivante :

$$Vtv = e\,(X1.P1 + X2.P2 + X3.P3 + X4.P4 + X5.P5 + X6.P6)$$

Avec, e : épaisseur de la terre végétale considérée.

III-2/ cubature des plate formes :

III-2-1/ introduction : après le nettoyage du terrain naturel, la cote plate forme étant fixée par le plan d’exécution à l’aide d’un matériel approprie, on doit réaliser cette plate forme par :

- l’opération de déblaiement si elle est prévue au-dessous de TN
- l’opération de remblaiement si elle est prévue au-dessus de TN dans les terrains accidentes, en général la plate forme est réalisée par une opération mixte, déblai et remblai afin :

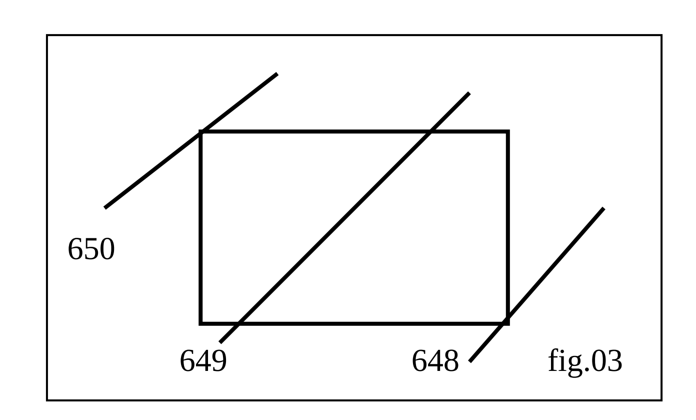
- de ne pas créer des décrochements de niveau important
- de ne pas dépasser la hauteur du remblai autorise (qui est fixe suivant l'infrastructure des constructions et la nature du sol)
- de s'arranger de telle manière à limiter au minimum les décrochements entre la chaussée et la plate forme

III-2-2/ calcul de la cote plate forme : pour déterminer les cotes plate formes selon les critères précités, deux cas se présentent :

- cas où la surface est carrée ou rectangulaire : le cote plate forme
  C.P.P. = H min + H /2 où CPF = Hmax – H/2$
  Sachant que H = Hmax – Hmin.
  Hmax : l'altitude du sommet le plus haut de la plate forme considérée.
  Hmin : l'altitude du sommet le plus bas de la plate forme considérée.

Application numérique : (fig.3/ci-contre)
Hmax = 650, Hmin = 648, H = 650 – 648 = 2 m

$$\text{D'où CPF} = \left.\begin{array}{r} 648 + 2/2 \\ 650 - 2/2 \end{array}\right\} = 649 \text{ m}$$



- **cas où le terrain est accidente :**

Si le terrain est accidente, les courbes de niveau sont trop serrées, on peut avoir plusieurs courbes de niveau traversant la plate forme, dans ce cas la CPF est fixée de la manière suivante :

$$CPF = \frac{Hmax + Hmin}{2}$$

avec Hmax : la plus grande cote traversant la PF
Hmin : la plus basse cote traversant la PF

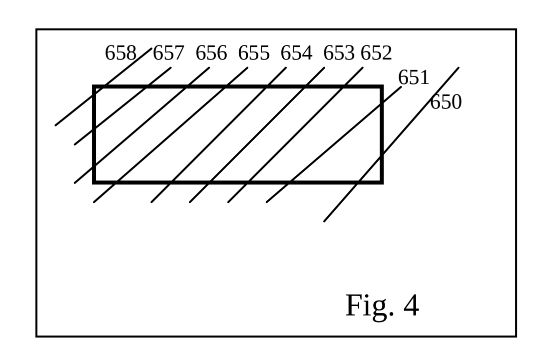
Où :

$$CPF = \frac{\sum H1}{N}$$

avec H : courbe traversant la plate forme
n : nombre de courbe traversant la PF

Application numérique :

$$CPF = \frac{650 + 651 + 652 + 653 + 654 + 655 + 656 + 657 + 658}{9}$$



D'où CPF = 654

Cas des surfaces quelconques :
CPF = Hmin +2/5 (Hmax – Hmin)

N B : les CPF calculées par les méthodes citées ci-dessus sont purement théorique, elles sont prises sous réserve, car ces méthodes de calcul ne prennent en considération que l'équilibre déblai – remblai, donc, il est recommande de vérifier les cotes formées si elles conviennent à la réalité du projet, surtout si le terrain naturel présente une morphologie très accidentée.

III-2-3/ calcul des cubatures des plates formes :

A / considérations générales :

- volume d'un cube

  => V = a.b.h

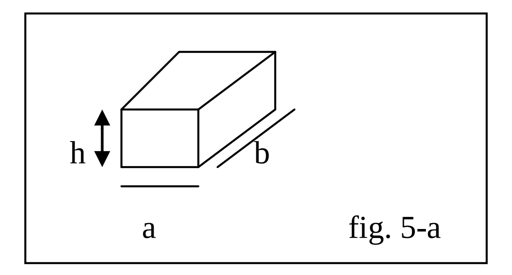


fig. 5-a

- volume d'un prisme

  ⇨ V = ½ B.H.h

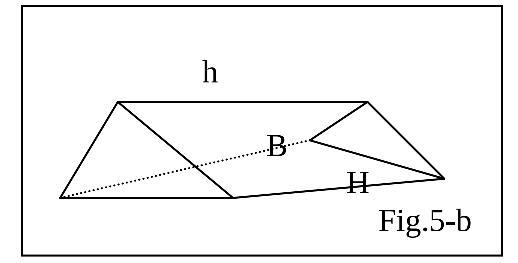


Fig.5-b

B / méthodes de calcul des cubatures :

Deux méthodes de calcul des cubatures des plates formes peuvent être utilisées :

- méthode de quadrillage,
- méthode des triangles

1) **méthode de quadrillage** : cette méthode consiste à :

a) décomposer la plate forme en surfaces élémentaires de forme géométriques régulières et identiques (carres ou rectangles)

b) tracer la courbe représentant la cote plate forme :

- les surfaces élémentaires au-dessous de CPF sont comptées en remblais
- les surfaces élémentaires au-dessus de CPF sont comptées en déblais

c) déterminer les quatre cotes (H1 H2 H3 H4) des sommets de chaque surface élémentaire par interpolation des courbes

dHi = Hi – CPF > 0 => déblai

dHi = Hi – CPF < 0 => remblai

d°/ calculer la hauteur moyenne (Hm) qui est donnée par la relation :

$$Hm = \frac{\sum Hi}{4}$$ et déterminer la dénivelée dH telle que :

dH = Hm – CPF
> 0 => déblai
> 0 => remblai

e°/ calculer la surface élémentaire Si = ai .bi

f°/ calculer le volume élémentaire donne par le produit de la hauteur moyenne par la surface élémentaire.

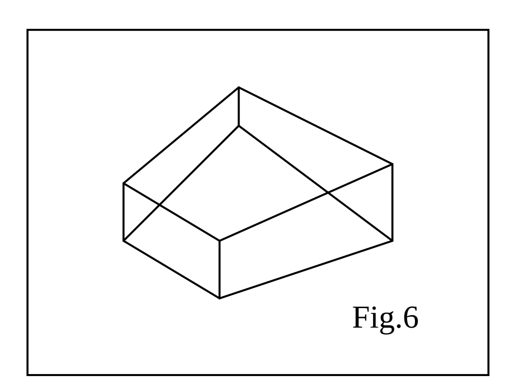
Vi = dHmi .Si avec Si : surface élémentaire
dHmi : hauteur moyenne revenant à la surface Si
Vi : volume élémentaire

NB : dHmi : pris en valeur algébrique.

g°/ déterminer le volume total séparément du déblai et du remblai revenant

à la plate forme : $VT = \sum Vi$
VT < 0 → remblai
VT < 0 → déblai

<u>**Application numérique**</u> : soit la figure ci-dessus :

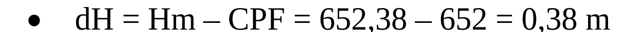

Fig.6

CPF = 652 ; ai = 54m ; bi = 4m
Surface SI : HI = 652, 36, H2 = 652,15
H3 = 652 ; H4 = 653

D'où $Hm = \frac{\sum Hi}{4}$ 652,3775

- dH = Hm – CPF = 652,38 – 652 = 0,38 m
- S = ai.bi =4.4 = 16 m²

Vi = 0,38.16 = 6,08 m3 => V est un volume en déblai.



<u>**2°/ méthode des triangles :**</u> cette méthode ne diffère de la première que par la décomposition en surface élémentaire, donc la surface à considérer dans ce cas est celle d'un triangle auquel on détermine la hauteur moyenne de ces trois sommets :

$$Hm = \frac{\sum Hi}{3}$$

> 0 = > déblai

dHi = Hmi - CPF

> 0 => remblais

La surface revenant à chaque triangle :

Si = ½ Bi.Hi
Bi : base du triangle
dHi : hauteur
Le volume élémentaire génère par chaque triangle : déblai – remblai séparé

Vi = ½ Bi.Hi.dHi = Si.dHmi { Vi < 0 => remblai ; Vi < 0 => déblais }

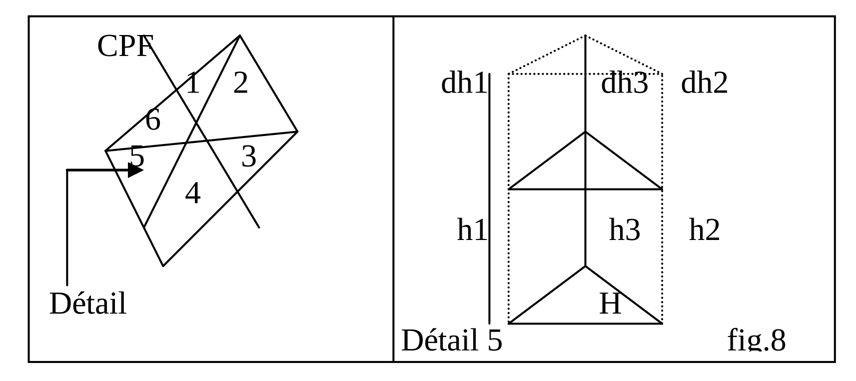


fig.8

NB : Hmi : prise en valeur algébrique
Calcul du volume total D/R
VT (deb) = ∑ Vi avec Vi > 0
VT (remb) = ∑Vi avec Vi < 0

Remarque :

Les deux méthodes exposées ci-dessus présentent des résultats approximatifs, cependant la méthode des triangles a trouve son champ d'application dans les terrains accidentes car elle présente des résultats plus précis que la méthode des quadrillages.
Il est à signaler que pour les deux méthodes, plus le nombre de surface élémentaires est important plus la précision est meilleur.

NB :

Dans le but d'obtenir une cubature aussi précise que possible, et vu la morphologie du terrain naturel qui est considéré par un relief moyennement accidente, nous avons choisit la méthode des triangles.

III-3/ cubature de la voirie :

III-3-1/ introduction au calcul des cubatures :

Les profils en long et les profils en travers constituent les supports fondamentaux pour la cubature de la voirie, de ce fait la fidélité des informations qu'ils fournissent contribue efficacement à la crédibilité des résultats obtenus (volume des terres) et surtout du point de vue précision.

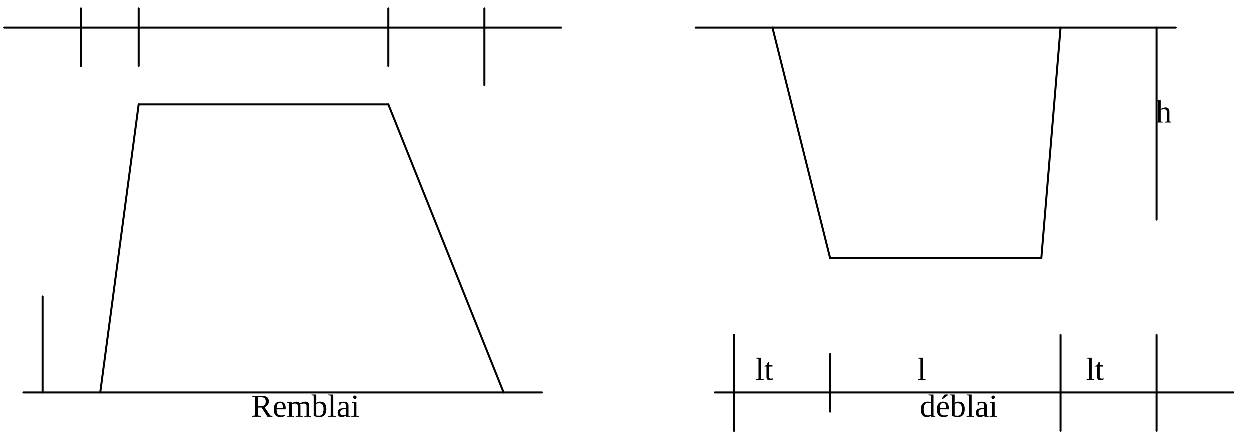
A/ but : le volume de terre à extraire et/ou à rapporter entre deux profils en travers consécutifs (P1, P2) (par exemple délimité par la surface du TN d'une part et la surface de voie projetée (C.P) d'autre part et enfin les surfaces des deux profils en travers (S1 et S2).
C'est l'évaluation en volume de chaque entre – profil pour tout le réseau de voirie qui constitue " LA CUBATURE DE LA VOIRIE ".

B/ critère de choix des méthodes de calcul : l'évaluation des volumes avec une exactitude rigoureuse nécessite des artifices de calcul géométriques très long et fastidieux, d'ailleurs cette exactitude est de peu d'intérêt et l'on peut se contenter d'une évaluation approximative même si l'infiltration de l'erreur aura lieu par défaut de précision, elle se traduira uniquement par une petite différence en argent.
Par conséquent, il est plus avantageux d'accepter une erreur due au manque de précision que de consacrer un temps considérable dont la valeur sera beaucoup plus grande à vouloir obtenir un volume d'exactitude mathématique.
Enfin, le choix de la méthode de calcul doit se faire sur celle qui donne des résultats approximatifs de préférence par excès car l'exactitude coûte plus chère par la perte du temps et les défauts de précision risquent de sous-estimer un projet de terrassement.

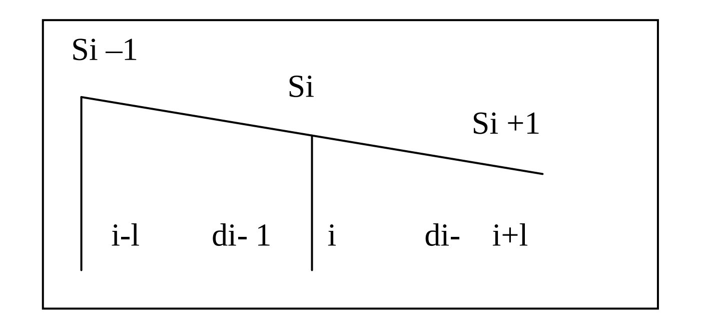
III-3-2/ méthode de calcul :

Pour calculer des cubatures de la voirie plusieurs méthodes peuvent être adoptées dont la précision varie d'une méthode à une autre.

A/ méthode des profils en long : c'est un procédé plus rapide mais moins précis, il consiste à utiliser pour un profil en travers une surface équivalente délimitée par une droite compensatrice tracée à la distance verticale de hauteur h de la ligne de projet, la valeur de h est prise directement sur le profil en long.
Cette méthode est utilisée pour les terrains peu accidentes.



B/ méthode des aires moyennes :
Cette méthode consiste à déterminer l'aire moyenne entre deux profils en travers qui se suivent i et i+1, puis on déduit le volume du tronçon [i – i+1] en multipliant l'aire moyenne par la distance di séparant les deux profils.



Cas général
$VT = \sum Vi$

$$V_{i-1} = \frac{(d_i - 1)\,[(S_i - 1) + (S_i)]}{2}$$

$$V_i = \frac{d_i\,[(S_i) + (S_i + 1)]}{2}$$

<u>C/ méthode des figures géométriques :</u>
Pour cette méthode, les terrassements sont délimités par des plans qui déterminent des figures géométriques connues, tels que prismes, pyramides, troncs de prisme dont le volume est facilement calculable. Cette méthode est plus difficile mais ses résultats sont plus précis.

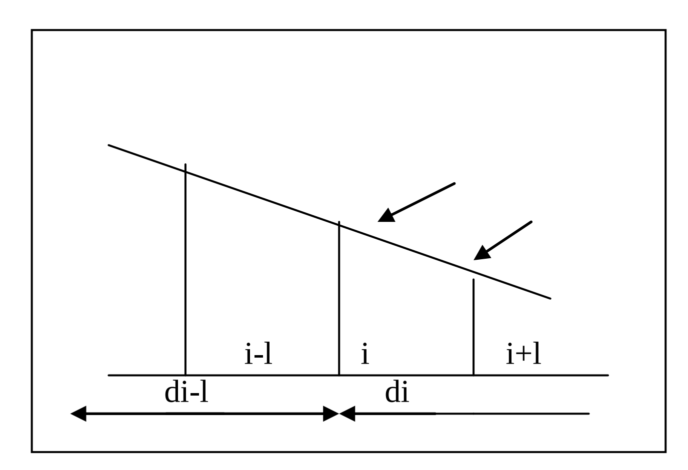
<u>D/ méthode des profil en travers :</u>
Cette méthode consiste à faire pour chaque voie plusieurs profils en travers, les lignes du projet et du terrain naturel permettent de calculer les surfaces du terrassements déblai ou remblai et on déduit par la suite le volume en multipliant la surface par la longueur d'applications qui est la moyenne de la somme des distances aux profils adjacents.

Volume du déblai :

$$V_i D = S_i D \cdot \frac{d_i + (d_i - 1)}{2}$$

Volume remblai :

$$V_i R = S_i R \cdot \frac{d_i + (d_i - 1)}{2}$$

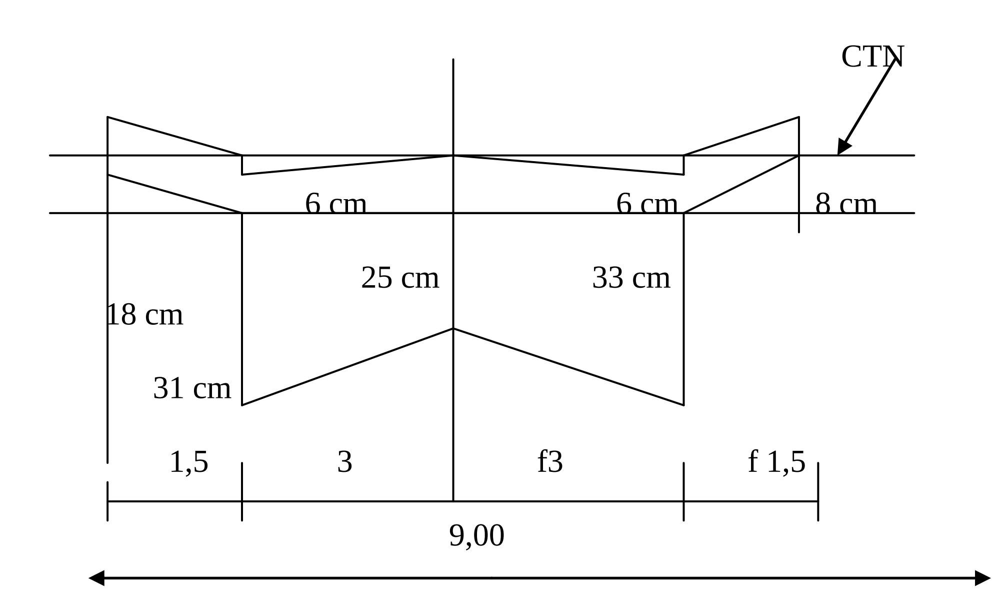


<u>E/ calcul électronique :</u> cette méthode est la plus récente et la plus rapide, elle évite les calculs longs, elle consiste à l'introduction des profils en travers, pente……etc.
Ces calculs par ordinateur donnent :

- La " ligne rouge " en profil en long suivant des limites et des normes définies pour les pentes, rampes et raccordements.
- Détermination des surfaces des profils en travers ainsi que les cubatures correspondantes.
- Recherche de la position altimétrique du trace la plus favorable.

Choix de la méthode :
On a opte pour la méthode des profils en travers, car elle donne des résultats plus précis par rapport aux autres méthodes ; elle est facile à appliquer et aussi la plus utilisée.

Détails de calcul : les détails de calcul sont donnes par cet exemple en prenant le profil en travers suivant :



Longueur d'application :
$$\frac{31,11 + 20,11}{2} = 25,80 \text{ m}$$

Terre végétale : STV = 0,25. 10 = 2,5 m² => VTv = 2,5.25, 80 = 70,96 m3

Déblai :
$$SD = \left(\frac{0,31 + 0,25}{2}\right) 3 + \left(\frac{0,25 + 0,33}{2}\right) 3 = 1,71 \text{ m}^2$$

VD = 1,71. 25,80 = 44,11 m3

Remblai :
$$SR = \frac{(0,06 + 0,1)^2}{2} + \frac{(0,04 + 0,09)^2}{2} = 0,29$$

VR = 0,29.25, 80 = 7,48 m3

NOTA : les résultats des autres profils sont donnes par le tableau suivant :

VTv = 70,96 m3
VD = 44,11 m3
VR = 7,48 m3

III-4/ soutènement des terres :
III-4-1/ introduction :

Tous les sols rencontres dans la nature lorsqu'ils se trouvent en pente assurent leur autostabilite suivant leurs caractéristiques intrinsèques.
En effet, selon les considérations de la MDS, si la pente d'un sol quelconque est inférieure à celle de son angle de frottement " ϕ ", le sol assure lui même la stabilité dans le cas contraire, il y a risque d'éboulement des terres.

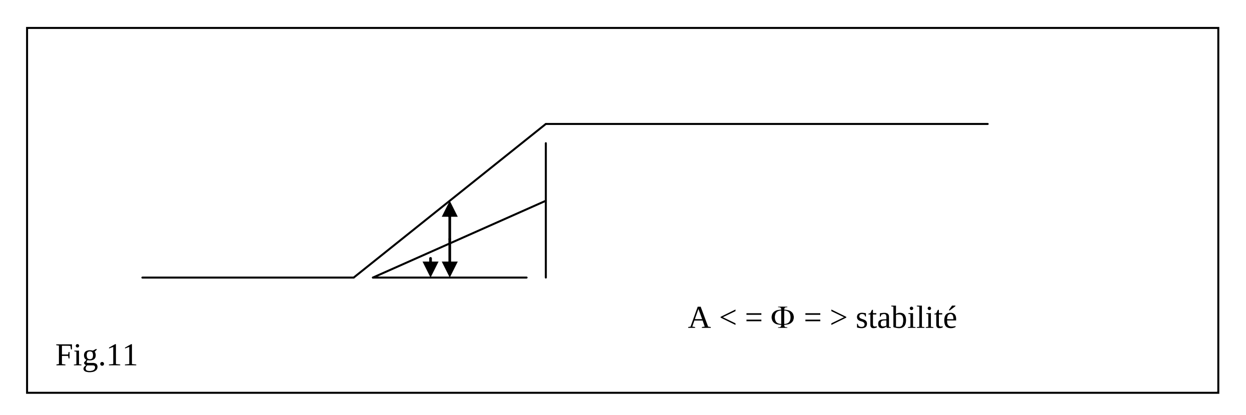


Fig.11

Si a = ϕ => la stabilité du sol ………………….. (1)

Les talus :

A/ définition : un talus est un sol quelconque qui se trouve à une inclinaison quelconque.

B/ utilité : lors d'une opération de remblaiement et/ou de déblaiement en vue de réaliser une plate forme, il y a lieu de créer des décrochements de niveau. Ceci fait que la stabilité du sol est comprise sin on ne prevoit pas un talus d'angle " a " suffisamment petit pour que la relation (1) soit vérifiée.

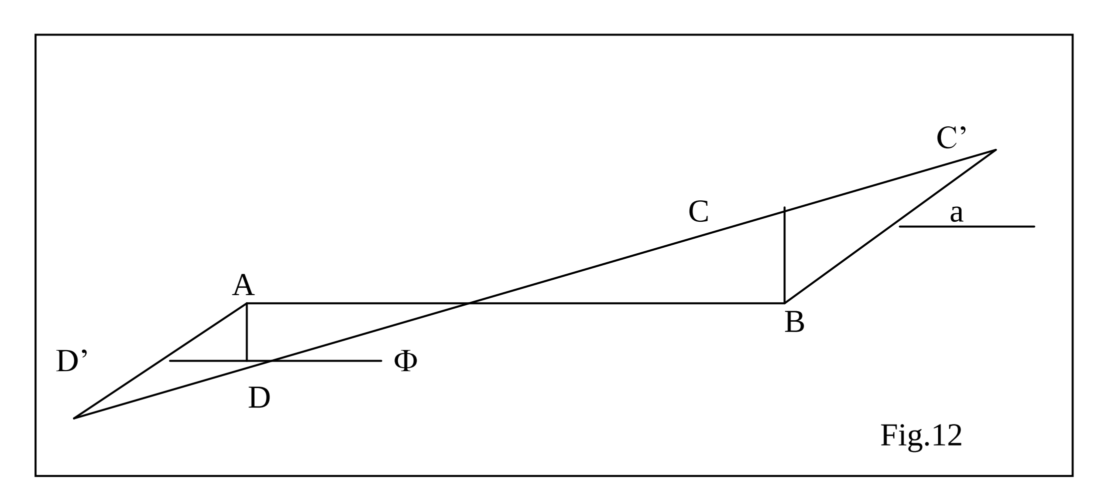
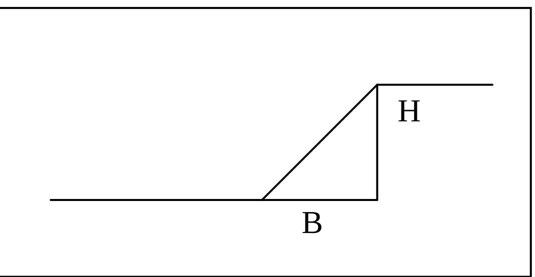


Fig.12



C/ caractéristiques géométriques d'un talus :
H : hauteur du talus.
B : base du talus.
A : angle d'inclinaison par rapport au plan horizontal.
Les talus sont définis par la cotangente de l'angle " a ".
(b ; h) , prononce : " talus de b pour h ".
Exp.: (3 :1), prononce " talus 3 pour 1 ".
Le tableau ci-après donne l'inclinaison maximale des talus selon la nature et l'état du sol.

	INCLINAISON			
	DEBLAI		REMBLAI	
Nature du sol	**E.M.M**	**SEC**	**E.M.M**	**SEC**
Sable fin non argileux	**20**	**30**	**20**	**30**
Gravier gros Sable argileux	**30**	**35**	**30**	**35**
Terre argileuse Argile normale	**20**	**40**	**20**	**35**
Terre forte de pierre	**30**	**45**	**30**	**35**
Roche éboulée	**40**	**45**	**40**	**45**
Roche tendre fissurée	**55**	**55**	**45**	**45**
Roche dure	**80**	**80**	**45**	**45**

D/ calcul d'un talus :

CTN : cote terrain naturel.

CPF : cote plate forme

A : l'angle du talus projeté, il est selon la nature du sol (voir tableau ci-dessus).

B : l'angle du terrain naturel, il est détermine par interpolation sur la plan.

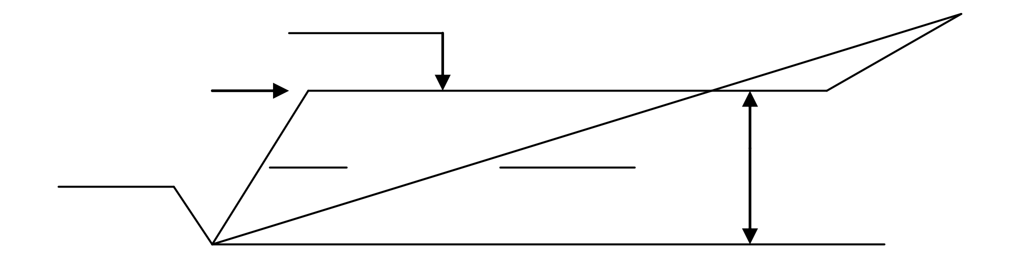
dh : est la dénivellation de la plate forme par rapport au terrain naturel.

Dh = CTN – CPF

La phase B du talus peut être calculée selon deux cas :

1e cas : talus et pente du terrain naturel de même sens.

$$B = \frac{dh}{(tg\ a - tg\ b)}$$



2^e cas : talus et pente du terrain naturel de sens contraire.

$$B = \frac{dh}{(tg\ a + tg\ b)}$$

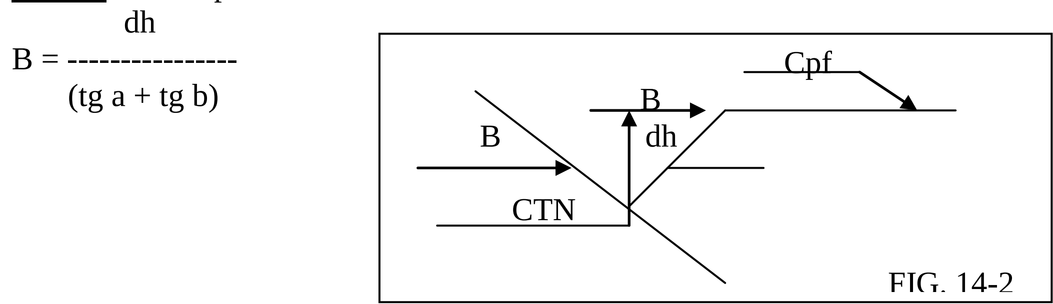
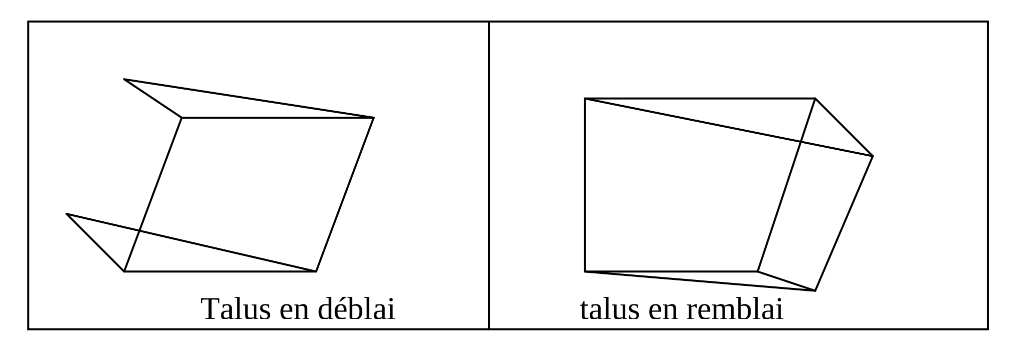


FIG. 14-2

e/ cubature des talus : la réalisation d'un talus fait partie des travaux de terrassements généraux, en d'autres termes, c'est mettre le terrain naturel en pente prévue par le plan d'exécution à l'aide d'un matériel approprie, dans le but de soutenir les plates formes (des voiries – des bâtiments……..etc.).
Cette opération nécessite un emprunt des terres et/ou l'extraction des terres, ceci donne lieu à deux types de talus :

- talus en déblai
- talus en remblai


Talus en déblai — talus en remblai

Puisqu'il s'agit de déblaiement et de remblaiement, donc il faudra quantifier les terres à enlever et/ou à ramener, ceci constitue la cubature des talus et qui est très simple, elle consiste à calculer les volumes concernant des formes géométriques usuelles telles que (prisme, tétraèdre…..etc.).

CHAP. III
A.E.P.

I – introduction:

L'eau est un bien public, chacun a le droit de l'acquérir en quantité suffisante et en quantité satisfaisante.
Dans les temps anciens, le transport de l'eau se faisait par des moyens rudimentaires, de nos jours, l'évolution a permis de canaliser l'eau depuis la source jusqu points d'utilisation, la conception et l'étude d'une telle canalisation nécessitent la considération de tous les facteurs

agissant sur ce genre d'opération pour assurer un fonctionnement rentable et durable de l'ouvrage.
Il est bien de rappeler les procédés à effectuer avant l'introduction l'eau dans les canalisations de distribution dont voici certains :

II- captage des eaux :
C'est une opération qui consiste à capter l'eau douce pour la mettre en réserve, puis la distribuer après traitement; l'eau peut provenir soit des eaux souterraines soit des eaux de surface.

II-1- eau souterraine : (captage par puits)
La perméabilité de certains sols permet à l'eau de pluie de pénétrer dans des profondeurs variables de la terre. Arrivant à une certaine profondeur, l'eau se stagne pour former des nappes ; cette nappe constitue la source de prise d'eau pour l'adduction en eau potable.

II-2- eau de surface :
L'origine de cette eau est également la pluie sur les bassins versants du milieu récepteur, elle finit par se déverser dans les cours d'eau, les lacs,….etc, et qui constitue la source de captage des eaux de surface.

III- traitement des eaux :
C'est l'ensemble des opérations qui consiste à traiter les eaux dans le but de les rendre potables ; l'élimination des éléments en suspension par décantation ou par filtration.
La stérilisation essentiellement par l'action soit du chlore ou de derivés chlores ou l'ozone.
L'amélioration qui consiste à corriger les propriétés chimiques de l'eau captée, soit par addition de corps chimiques consommables, soit par absorption de corps supprimés.

IV- considérations générales :
Avant de passer aux dimensions du réseau de distribution d'eau potable, il faut établir le bilan général des différents points de consommation qui est déterminé sur la base des consommations spécifiques.

Ecole → 20l/j/élève
Logement → 150l/j/hab.
Mosquée → 5l/j/m²
Locaux administratifs → 2l/j/m²

IV-2- débit de pointe :

La plus grande consommation est enregistrée durant la journée, d'autre part, il faut tenir compte des pertes admissibles liées au rendement du réseau qui sont généralement estimées à 15 %.
L'expression qui donne le débit de pointe ϕp pour alimenter les points à usage d'habitation est :

$$\phi p = \frac{1{,}15\ Cj.N.P}{86400} \quad (l/s)$$

Cj : dotation jounalière (l/j/hab.)
N : nombre d'habitant
P : coefficient de pointe.

IV-3- vitesse d'écoulement :

On doit une vitesse $0{,}5\ m/s < V < 1{,}5\ m/s$
$V < 1{,}5\ m/s$ pour éviter le bruit et les dégradations des conduites.
$V < 0{,}5\ m/s$ pour éviter les dépôts.

IV-4- calcul des diamètres :
L'expression qui permet de calculer le diamètre est :
$Qp = V.S$ V : vitesse [m/s]
S : section de la conduite (m²)
Qp : débit de pointe (m3/s)

Sachant que $S = \pi D^2 / 4$
$D = \sqrt{4Qp / \pi V}$ D (m) : diamètre de la conduite

N.B :
Le diamètre D calcule doit être normalise par diamètreϕ, par conséquent la vitesse réelle d'écoulement Vr est :

$$Vr = \frac{4Qp}{\pi\ \phi^2} \quad (m/s)$$

IV-5- pertes de charges :

Elles sont dues aux frottements entre particules du liquide et la paroi de la canalisation.
Elles sont données par la formule de COLEBROOKE :

$\Delta j = \lambda.V^2 / 2g.D$
Δj : perte de charge de m de hauteur du fluide circulant dans la conduite par m de celui-ci
V : vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)
g: accélération de la pesanteur (m/s²)
λ : En fonction du nombre de REYNOLDS

Re : VD / μ et K/D
K : coefficient de rugosité en m
V : coefficient de viscosité cinématique du liquide en mouvement.
La formule de COLEBROOKE donne le coefficient de perte de charge

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{2{,}7D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Pour une conduite neuve k = 0,1 mm
Pour une conduite ancienne k = 0,03 mm
En pratique, on utilise les tables de COLEBROOKE qui donnent les pertes de charges en fonction du_ débit, la vitesse et le coefficient k.

<u>IV-5- ligne piézométrique H :</u>

C’est la limite d’ascension de l’eau qui est entraînée par une pression quelconque, cette limite est atteinte avec énergie cinétique nulle.
La cote piézométrique est donnée par l’expression suivante.

$$H = Z + P$$

Z : cote altimétrique de l’eau
P : pression entraînée en m c E
H : cote piézométrique

<u>IV-6- pression :</u>

C’est une grandeur physique qui s’exerce sur un liquide dans une conduite pour lui apporter l’énergie nécessaire qui permet de vaincre les différentes pertes de charges rencontrées dans cette conduite.

Calcul de pression nécessaire au point de piquage :

Les normes exigent que la pression minimum pour le fonctionnement normal d’un chauffe-bain --→ 5 m c e
Robinet de puisage ---------→ 2 m c e

5 m c e <= p <= 40 m c e

<u>V/ réseau de distribution d’eau potable :</u>

<u>V-1/ définition :</u>
C’est un assemblage de plusieurs conduites en série ou en parallèle accompagne d’un ensemble d’accessoires (coude robinets bouche d’incendie), qui sont appelées à remplir des fonctions bien spécifiques.

V-2/ différents types de réseaux :
On distingue deux types de réseaux :

V-2-1/ réseau ramifie :
C'est le système le plus ancien, l'écoulement des eaux s'effectue dans le même sens, c'est à dire pas d'alimentation en retour des canalisations ; c'est un système économique mais il présente un grand inconvénient en matière de sécurité et ne souplesse lorsqu'un arrêt se produit en un point ; il nous oblige d'isoler toute ou une partie d'un réseau située en aval, il a comme avantage, la facilite de réalisation et de calcul.

V-2-2/ réseau maille :

Il présente l'avantage de simplifier considérablement l'exploitation car les coupures peuvent se faire en isolant une seule maille le reste étant toujours alimente, aux heures de pointe les surcharges en point sont absorbées par les possibilités multiples d'alimentation.

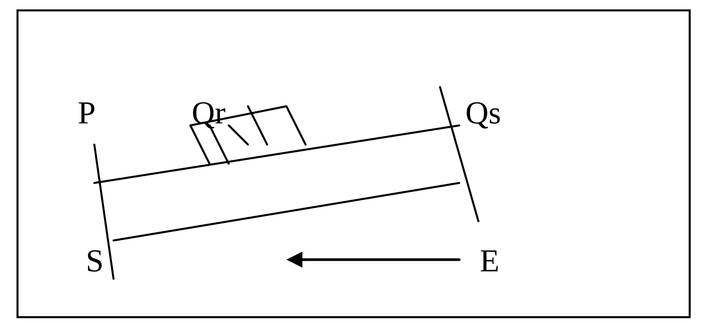
Avantage : la sécurité est garantie en cas de panne

Inconvénient : coûteux et calcul complexe

N.B : calcul :

V-3-1/ débit fictif équivalent (débit de calcul Qc) :

C'est le débit rencontre sur un réseau des tronçons de conduite présentant des prises d'eau, ceci fait que le débit de ces tronçons varie autant de fois qu'il ait des prises d'eau on distingue trois débits sur ce tronçon :
Q6 : débit d'entrée
P : débit de sortie (en avale)
Qr débit en route (consomme)



Le dimensionnement de la conduite par ces débits peut être surdimensionné ou sous dimensionne, donc il faut déterminer le débit fictif équivalent dit " débit de calcul Qc " qui est considéré uniforme le long de la conduite, tel que : $P+Qr <= Qc <= P$
Pour le calcul on adopte pour la valeur de Qc tel que : $Qc = P + 0,55\ \phi r$

V-2-2/ loi de KIRCHHOFF : (équation de continuité)

$\sum Q1 = 0$, les débits entrants égaux aux débits sortants en chaque nœud.

- **équation des pertes de charge :**

$\sum j1 = 0$; j1 : perte de charge en chaque tronçon compte en valeur algébrique selon le sens positif choisi.

V-3-3/ calcul du débit correctif :

Par l'application des deux lois de KIRCHHOFF, on obtient :

$$\Delta Q = -\frac{\sum j}{2 \sum (j/Q)}$$ …………………………. Formule de FAIR

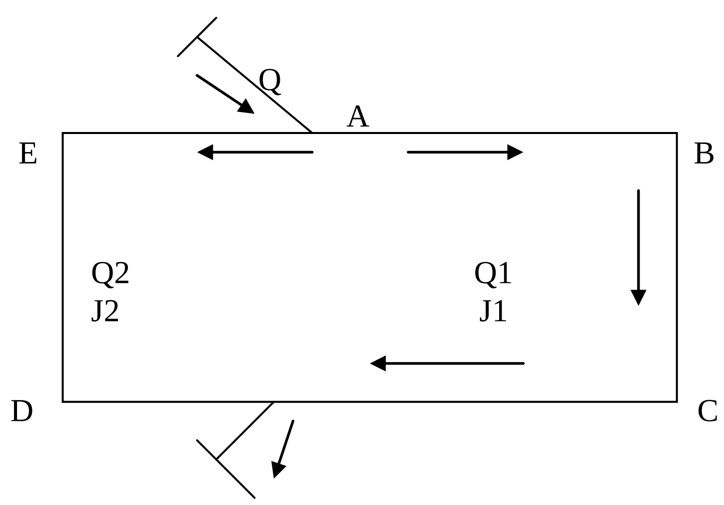
Les valeurs de j/Q sont prises en valeur absolue
Les valeurs de j sont prises en valeur algébrique

a- détermination des diamètres :

- méthode d'HARDY CROSS : (méthode d'égalisation des charges)

Avec les itérations, on peut déterminer les débits exacts qui circulent avec leur sens.

b- marche à suivre :



- établir la répartition forfaitaire du débit en respectant les lois de KIRCHHOFF
- calcul des diamètres provisoires.

Calcul des pertes de charges (COLEBROOKE)

- calcul des débits correctifs $$\Delta Q = -\frac{\sum j1}{2\sum (j1/Q1)}$$

- correction des débits provisoires
- continuer les itérations jusqu'à $\Delta Q <= 0,001$.

C/ vérification de la maille :

$\sum$ JABCF - $\sum$AEDF est acceptable (cas de fig.2)
0,5 bar <= p <= 4 bars
0,5 bars <= V <= 1,5 m/s

V-3-5/ ramification du réseau maille :
Le transport de l'eau depuis les canalisations principales (maille) jusqu'aux points d'utilisation (pieds des bâtiments) se fait par des ramifications.

V-3-6/ caractéristique hydraulique d'une conduite :
D'après les lois de l'hydraulique

Hi = Zi + Pi
Hj = Zj + Pj
Hj = Hi + Hy
Hi, Hj : cotes piezometrique
Pi, Pj : pressions exercées sur l'eau sur les extrémités i, j
Zi, Zj : cotes altimétriques
Hij : pertes de charge totales dans la conduite i j

V-4/ calcul et recommandations pratiques :

La pression demandée à partir du point de piquage est fournie par les services publics. Connaissant les caractéristiques du point de piquage : P – Z – H en se faisant un calcul par récurrence moyennant les formules, on peut detérminer la pression qui sera disponible au sol de chaque immeuble.

VI-4-1/ établissement de la comparaison :

Pa > Pmax → réducteur de pression
Pmin <= PO <= Pmax → fonctionnement normal
Po < Pmin → surpresseur au sol du bâtiment

VI/ trace en plan (recommandations générales) :

- toutes les canalisations sont posées en tranchée sous trottoir
- limiter le nombre de traversée de la chaussée
- occupation de la voirie qui ne contient pas le réseau d'assainissement
- prévoir une protection en béton en cas de traversée de la chaussée et en cas où la profondeur est inférieure à 80 cm.

VII/ protection du réseau :

Problèmes fréquents :

1- formation des poches d'air dues à l'augmentation de la température T° et la diminution de la pression Pr
2- coup de bélier du à la propagation d'une onde de pression (ou dépression)
3- détérioration des coudes dus aux grandes vitesses d'écoulement.

Solution :

1- prévoir une ventouse (purgeur) aux points hauts du réseau
2- prévoir des robinets vannes à ouverture et fermeture progressive (à vis)
3- prévoir en face des coudes, des butées pour absorber les effets de vitesse

VIII/ organes annexes :

1/ les canalisations : sont en acier galvanise, ont pour objet le transport de l'eau du point de piquage jusqu'aux points d'utilisation.

2/ joints : l'assemblage de deux conduites successives.

3/ bouche d'incendie : utilisées pour satisfaire les besoins de lutte contre l'es incendies, rayon de balayage de 150 à 200 m et le débit est de 17 l / s.

4/ bouche d'arrosage : besoins en eau pour les espaces verts, lavages des trottoirs,…….etc. le débit d'alimentation est de 0,4 l /s.

5/ ventouse : placée aux points hauts du réseau, permet l'évacuation de l'air entraîne à l'intérieur des conduites.

6/ vidange : existe aux points le plus bas du réseau, permet de vider la maille pour l'entretien ou la réparation, elle est reliée au réseau d'assainissement.

7/ robinets :

a) robinet vanne : l'isolation des conduites.
b) Robinet de branchement : commande le branchement des immeubles

8/ surpresseur : l'augmentation de la pression

9/ dépresseur : les réductions de la pression

NB : voir planche détail a.e.p.

Application au réseau d'AEP/
Le réseau maille est l'option adopte pour notre projet vu ces avantages dans la distribution, il est compose d'une seule maille, en débouchant des ramifications secondaires et tertiaires.
Le point de piquage : (cote sol = 661,19 cm), pression disponible (35,11 m).
Cote piézométrique = 696,30 m
La cote débouchant au point de piquage débite 26,601 l/s, elle est de diamètre de 200 m.

Estimation des besoins :
Logement : 150 l/j/ha commerce : 5 l/m²
Le coefficient de pointe P=3, les pertes admissibles sont de 15 %.

Exemple de calcul du débit de pointe :
On admet que la densité est prise pour 7 hab. /logt.
Bâtiment ; R+4 -→ 10 logts, S = 165 m²

Débit de pointe :
Qp =1,15 (cj.n.P)/86400
D'où Qp = 1,15 (150.10.7.3)/86400 = 0,419 l/s
Pour les commerces : Qp = 1,15(5.165..3)/86400 = 0,0329 l/s
Le débit de pointe nécessaire pour le bâtiment y compris le commerce :
Qp =1,15 (150.8.7.3)/86400 + 1,15 (5.165.3)/86400 = 0,368 l/s

Choix des canalisations :

- les canalisations du réseau seront en acier, ainsi que les pièces de raccordement (TES, coudes, joints), les raccords seront a emboîtement.
- Une bouche d'incendie sur vanne de 100 mm de diamètre par bouche de débit de 17 l/s sous pression minimale de 1 bar.
- Les vidanges seront prévues aux points bas du réseau
- Les ventouses seront prévues aux points hauts du réseau, elles seront raccordées au réseau par diamètre de 60 mm.

Dimensions des ramifications :

Pour le calcul des ramifications, on n'a pas tenu compte des débits en route, c'est à dire que pour un tronçon ayant pour débit en route q et pour débit consomme le long du tronçon Q sera dimensionne pour un débit Qc = Q +q, car les ramifications sont petites et les débits sont faibles.

Exemple :
Considérons le tronçon (1-2), le débit (7,338 l/s, longueur L =3,5 m
Φ = 100 mm, d'après la table de colectomie on a :
j = 0,01005 m/m et les pertes de charges totales.
J = J.L = 0,010005.3, 5 = 0,035 175 m
Cote piézométrique aval = cote piézométrique amont – pertes de charges totales
Cp aval = 695,85 – 0,035175 = 695,82 m
Cote sol aval = cote sol au point 2 = 664 m
Pression au sol aval = cote piézomètrique aval – cote sol aval
Pression au sol aval = 685,82 – 664 = 31,82 m = 3,182 bars

Nota : les résultats des ramifications seront donnes par le tableau ci-après :

R – D – C	0,8 à 1 bars
1 NIVEAU (R+1)	1,2 à 1,5 bars
2 NIVEAUX (R+2)	1,6 à 1,9 bars
3 NIVEAUX (R+3)	2 à 2,8 bars
4 NIVEAUX (R+4)	2,4 à 2,9 bars
5 NIVEAUX (R+5)	3 à 3,5 bars

CHAP. IV
ASSAINISSEMENT

I/ introduction :

Il est évident que l'eau potable apportées aux habitations, mis à part la quantité déversée pour l'arrosage, par exemple et qui est très faible, sera rejetée vers l'extérieur par besoin de lavage, de propreté et d'hygiène.

II/ position du problème :

D'une façon générale, dans tous les endroits où l'homme réside et notamment dans les agglomérations, les eaux de toutes natures ne doivent pas être laissées ruisseler naturellement, elle doivent être guidées, canalisées pour être dirigées vers des émissaires naturels ou artificiel et parfois être épurées et traitées avant leur rejet définitif.

III/ aperçu général sur les principes de l'assainissement urbain :
L'assainissement à pour but de collecter toutes les eaux polluées à savoir :
- les rejets des habitations à travers les appareils sanitaires
- les eaux usées industrielles
- les eaux météoriques

Notons qu'un traitement particulier dans les stations d'épuration de certaines eaux usées, notamment celles provenant des industries est à considérer avant de les introduire définitivement dans la nature.

III-1/ les eaux résiduaires :
On peut distinguer 4 catégories :
- les eaux ménagères
- les eaux de ruissellement
- les eaux vannes
- les eaux résiduaires industrielles

III-2/ différents systèmes d'assainissement :
1) systèmes fondamentaux :
a) **système unitaire** : l'évacuation des eaux (EU et EP) est assurée par un réseau unique
Avantage :
- économique (coût plus bas)
- facilite de branchement et de mise en œuvre.

Inconvénients :
- pollution relative du milieu récepteur
- perturbation du fonctionnement de la station d'épuration

b) système séparatif :
Il est compose de deux conduites distinctes, l'une collecte les eaux pluviales et l'autre les eaux usées.
Avantages :
- la station d'épuration est simplement dimensionnée (faible)
- fonctionnement efficace de la station d'épuration.

Inconvénients :
- mise en œuvre du système séparatif (coût élevé)
- problème de raccordement
- pollution des eaux des premières pluies subsistent dans le milieu d'habitation récepteur

c) système mixte :
C'est un réseau constitue selon les zones d'habitation, en partie système unitaire et en partie système séparatif.

2) système pseudo-membrane :
Les eaux météoriques sont divisées en deux parties :

- l’une provenant uniquement des surfaces de voiries, et l’évacuation se fait directement dans la nature.
- L’autre provenant des toitures, cours et jardins qui déversent dans le réseau à l’aide des mêmes branchements que ceux des eaux usées.

- **avantages et inconvénients :**

Ce système est comparable avec le système séparatif mais sans problème de raccordement, en contre parte perturbation du fonctionnement de la station d’épuration.

3) choix du système d’assainissement :

Le choix est base sur les considérations suivantes :

- raccordement des immeubles (faisabilité, facilite)
- épuration (bon fonctionnement, coût bas)
- hygiène et protection des milieux récepteurs
- condition de fonctionnement et d’entretien et le coût.

NB : on a choisit le système unitaire pour notre projet.

IV/ dimensionnement de l’ouvrage d’évacuation : (système unitaire)

IV-1/ débit de pointe des eaux usées :

IV-1-1/ débit moyen journalier :

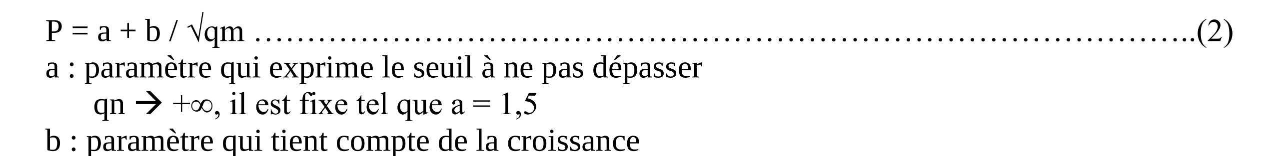
$$q_m = \frac{n.c.(1-a)}{86400} \quad \text{............(l/s) ....(1)}$$

n : nombre d’habitant

c : consommation journalier estimée à 150 l/j/hab.

a : coefficient d’abattement estime entre 20 et 30 % donc, a= 0,2 à 0,3

IV-1-2/ coefficient de pointe :



$P = a + b / \sqrt{qm}$ ……………………………………………………………………………..(2)

a : paramètre qui exprime le seuil à ne pas dépasser

qn → $+\infty$, il est fixe tel que a = 1,5

b : paramètre qui tient compte de la croissance

qm → 0, il est fixe tel que b = 2,5
d'où P + 1,5 + 2,5 /√qm ………………………………………………………………………(3)

IV-1-3/ débit de pointe :

Qp = p.qm => P = 4……………………………………………………………………………(4)

IV-2/ débit de pointe des eaux pluviales :

IV-2-1/ introduction :

L'estimation des débits à évacuer est basse sur les connaissances hydraulogiques de la région considérée et les statistiques relevées sur sa pluviométrie pendant une période donnée.

IV-2-2/ considérations générales :

a) coefficient de ruissellement C :

- surface imperméable ………………………..0,9
- pavage à large joint …………………………0,6
- voie en macadam non goudronne…………...0,35
- allée en gravier…………………………..…..0,2
- surface boisée………………………………0,05

$$CP = \frac{\sum Si.Ci}{\sum Si} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

b) temps de concentration " tc " :

tc = t1 + t2 ……………………………………………………………………..(6)

t1 = 2 minutes pour les pentes de 10 % des voies et des toits ou branchements.
t1 = 15 minutes pour une pente de 0,1 %
t2 : délai d'écoulement en canalisation à une vitesse de 1 m/s sur parcours limite à 1500 m.
On prend t1 = 5 min pour t2 = D/60 avec D = 1500 m
on aura tc = 5 min + D/60 ……………………………………………………….(7).

c) intensité de précipitation :

Elle dépend du temps de concentration (tc) et de la fréquence (N) tel que N = 1/T

T : la période de retour
L'expression de l'intensité

$$I = (280 - 250 \log N)\, T \quad (mm/h)$$
$$I = (805 - 694 \log N)\, T \quad (l/s/hab.) \quad \ldots\ldots (8)$$

b : coefficient caractérisant la pluviométrie de la région pour l'algérois, b = - 0,65

IV-2-3/ différentes méthodes de calcul :

a) **méthode rationnelle :**

$$Qp = C.I.S \quad (l/s) \quad \ldots\ldots (9)$$

S : surface du bassin (ha)
I : intensité de précipitation (l/s/hab.)
C : coefficient de ruissellement

b) **méthode superficielle :** (modèle de A.CAQUOT)
Elle est destinée pour les agglomérations de grandes surfaces jusqu'à 200 ha

$$Qp = K.I.C.S \quad \ldots\ldots (10)$$

Avec k = [0,5(f) / 6,6)]

$$U = \frac{0{,}41.b\,(f)}{1+0{,}29\,b\,(f)} \;;\; V = \frac{1}{1+0{,}29b\,(f)} \;;\; W = \frac{1{,}05 + 0{,}507\,b\,(f)}{1+0{,}29\,b\,(f)}$$

a (f), b (f) : les valeurs paramétriques de la pluie considérées
I : pente moyenne du bassin d'apport
C : coefficient volumétrique de ruissellement
S : surface totale des bassin d'apport

Il convient d'utiliser pour les calculs l'expression suivante :

$$Qp = 550.I.C.S \quad \ldots\ldots (11)$$

1) **pente moyenne** :

$$I\ moy = \frac{\sum Lj}{\sum \frac{Li}{Ij}}$$

Lj : le parcours hydraulique le plus long j
Ij : pente du bassin j

2) **allongement des bassins versants** : soit en série ou en parallèle

M = L/S

L : hectomètre de plus long cheminement
S : surface du bassin (hectare)

c) **méthode linéaire :**

Elle permet de suivre la progression des débits le long d'une voie, elle est basée sur l'expression du coefficient de ruissellement tel que :

$$C = 0{,}56\,(L/2S)\,.\mu \quad \ldots\ldots (12)$$

C : coefficient de ruissellement
S : surface du bassin d'apport
L : longueur (hectomètre) des rus qui sillonnent le bassin
μ : facteur d'imperméabilité qui est donnée par :

$\mu = 0{,}02\ h/r.\ 1/R$; où h/r : nombre d'habitant par hectomètre

R : longueur totale des rues de l'agglomération

Le débit de pointe est donnée par : $Q_p = 550.I.\ 0{,}56\ (L/2S)\ .\mu.S$ ………… (13)

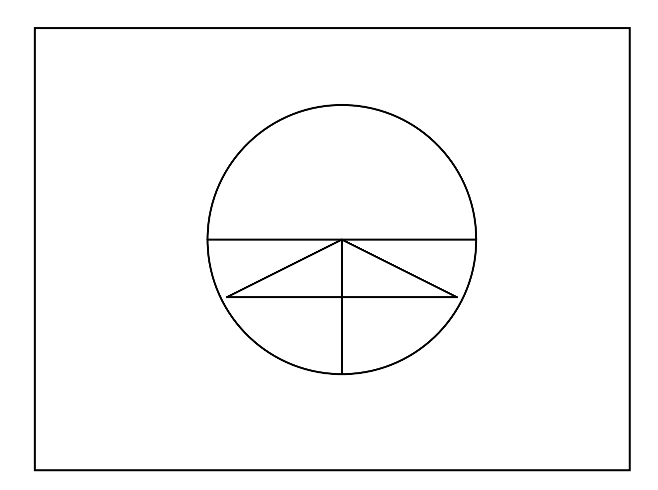
IV-3/ calcul des diamètres des conduites :

IV-3-1/ considérations générales :

a) calcul du rayon hydraulique :

Soit une conduite de section " S " par laquelle transite un débit quelconque, on appelle rayon hydraulique note " Rh ", le rapport de la section mouillée " Sm " au périmètre mouillée " Pm ", (fig.4).

$R_h = S_m / P_m$ ………(m)……………………………………………………………(14)
Avec $S_m = R^2\ (a - \sin a)/2$; $P_m = R.a$
D'où : $R_h = R\ (a - \sin a)/2a$ …………………………………………………………..(15)

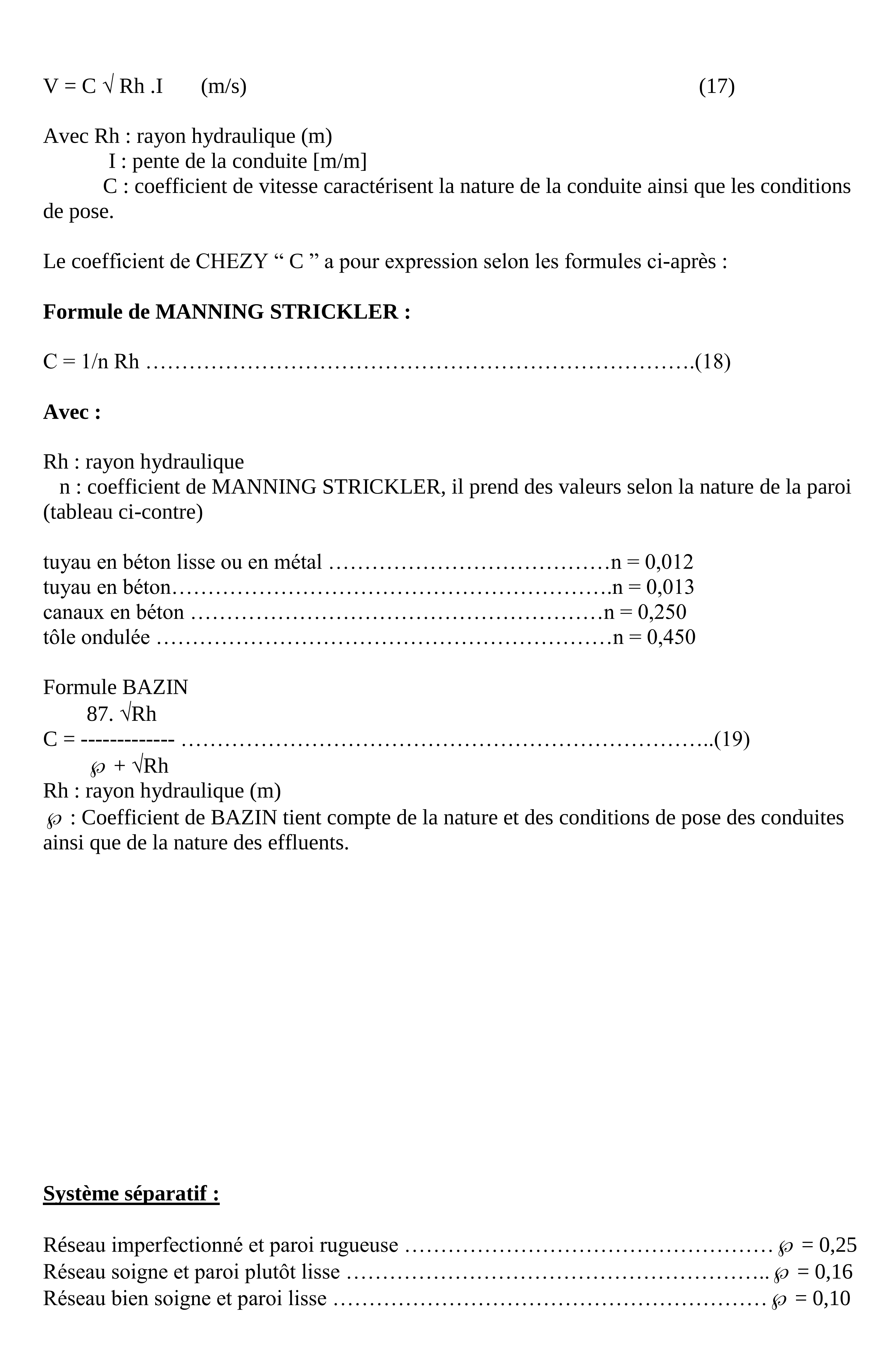


Cas particulier : si on considère que toute la section est mouillée

$$\left.\begin{array}{l} S_m = S = \pi\ \Phi^2 / 4 \\ P_m = \pi\ \Phi \end{array}\right\} \Rightarrow R_h = \Phi / 4 \ \ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

b) calcul de la vitesse d'écoulement :

Compte tenu des caractéristiques hydrauliques des effluents urbains, de la nature et la disposition des conduites dans lesquelles s'effectuent l'écoulement, CHEZY a établit l'expression de la vitesse d'écoulement comme suit :



$V = C \sqrt{Rh.I}$ (m/s) (17)

Avec Rh : rayon hydraulique (m)
I : pente de la conduite [m/m]
C : coefficient de vitesse caractérisent la nature de la conduite ainsi que les conditions de pose.

Le coefficient de CHEZY “ C ” a pour expression selon les formules ci-après :

Formule de MANNING STRICKLER :

$C = 1/n\ Rh$ ……………………………………………………………….(18)

Avec :

Rh : rayon hydraulique
n : coefficient de MANNING STRICKLER, il prend des valeurs selon la nature de la paroi (tableau ci-contre)

tuyau en béton lisse ou en métal …………………………………n = 0,012
tuyau en béton…………………………………………………….n = 0,013
canaux en béton …………………………………………………n = 0,250
tôle ondulée …………………………………………………….n = 0,450

Formule BAZIN

$$C = \frac{87.\sqrt{Rh}}{\wp + \sqrt{Rh}} \quad \text{……………………………………………………………..(19)}$$

Rh : rayon hydraulique (m)
$\wp$: Coefficient de BAZIN tient compte de la nature et des conditions de pose des conduites ainsi que de la nature des effluents.

<u>Système séparatif :</u>

Réseau imperfectionné et paroi rugueuse …………………………………………… $\wp$ = 0,25
Réseau soigne et paroi plutôt lisse ……………………………………………….. $\wp$ = 0,16
Réseau bien soigne et paroi lisse ……………………………………………… $\wp$ = 0,10

Système unitaire ou séparatif :

Ouvrages établis avec soin moyen, présence de sable dans les eaux, parois plus ou moins lisses……………………………………………………………………….. $\wp$ = 0,46
Ouvrages bien executés, paroi lisses……………………………………………. $\wp$ = 0,30

IV-3-2/ méthode de calcul des diamètres :

a) objectif :

Il faut que les diamètres remplissent les conditions suivantes :

- permettre l'évacuation du débit de pointe
- assurer une vitesse d'écoulement normale

b) principe de calcul :

La section est donnée par la formule suivante :

$$Q = V.S \quad \text{……………………………………………..(20)}$$

Q : débit traversant une section quelconque (l/s)
S : section du collecteur
V : vitesse d'écoulement dans la conduite
(Formule de MANNING STRICKLER)

c) calcul de diamètre : (selon MANNING STRICKLER)

Si on considère que le débit transitant est à plein section (note Qps),
Le rayon hydraulique Rh devient : Rh = D/4 (voir relation (17))

$$\text{Soit : } K = \frac{\pi}{4.4} = 0{,}3117$$

D'après les expressions (17), (19), (21), le débit Qp est donne par :

$$Qp = \frac{0,03117}{n} . D. \sqrt{I} \quad \text{(l/s) ……………………………………….. (21)}$$

$$\left(\frac{n. Qp}{\quad} \right)$$

$$D = \frac{\text{--------------------}}{0{,}03117\ \sqrt{I}} \quad (m) \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

N.B : la pente I est prise en %

Il faut chercher le diamètre normalise ϕ > D, le débit transite par ϕ est également supérieur au débit réel donne par l'expression (22) d'où le nouveau débit est :

$$Qps = 0{,}03117.\phi\ .\sqrt{I}\ /n \quad (l/s) \ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

Connaissantϕ, Qps, l'expression (21) donne la vitesse à pleine section comme suit :

$$Vps = \frac{4Qps}{\pi\phi^2} \quad (m/s) \ldots\ldots\ldots\ldots (24)$$

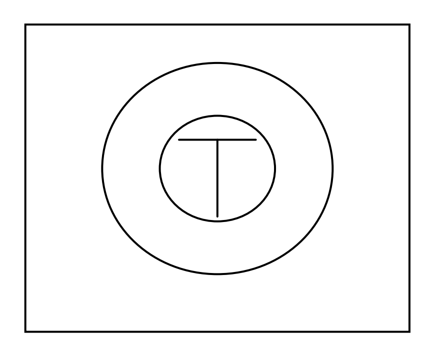
Conditions pratiques :

La section de la conduite ne peut être remplie car Qps > Qp (réel)

Qp = rQ.Qps

Veff = rv.Vps ……………….. (25)

H = rH.ϕ



H : hauteur de remplissage (fig.6)

Avec rQ, rv, rH qui représentent les taux des grandeurs réelles par rapport aux grandeurs prévues, ils sont exprimes en terme de coefficient.

Connaissant l'un de ces trois coefficient (rQ, rv ou H), il sera possible d'en déduire les deux autres sur le monogramme ci-dessous (rapport des débits, rapport des vitesses en fonction de la hauteur de remplissage dans la conduite.

Recommandations : dans un système unitaire :

- le diamètre minimum est de 300 mm
- la vitesse effective dans une conduite est : 0,5 m/s < V < 4 m/s

V > = 0,5 m/s condition d'auto curage.

V <= 4 m/s et au delà, risque détérioration du réseau

- la hauteur de remplissage est limitée telle que : rh <= 0,8

d) calcul des diamètres (selon BAZIN) :

1/ par calcul :

Les relations (18) et (21) donnent : Qp = C. $\sqrt{Rh}$.I.S.

Selon BAZIN/

$$C = \frac{87.\ \sqrt{Rh}}{\text{---------------}}$$

$\wp + \sqrt{Rh}$

Pour un système unitaire établi avec un soin moyen, on prend : $\wp = 0{,}46$

Sachant que $C = \dfrac{87.\sqrt{Rh}}{\wp + \sqrt{Rh}}$ et $Qp = C.\sqrt{Rh.I}.S$

On préviendrait à l'expression du débit de pointe suivante :

$Qp = 60.Rh.\sqrt{I}.S$ …………………………………………………………….. (27)

Or, $S = \dfrac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = \left(\dfrac{Qp}{15\,\pi Rh.\sqrt{I}} \right)^{1/2}$ ………………………………(28)

Le diamètre calcule " D " doit être normalise par un diamètre commercial, tel que $\phi >= D$.

V/ trace en plan (recommandations générales)

- éviter les chevauchements et l'encombrement des conduites
- assainir le plus rapidement possible en empruntant les plus courts cheminements
- prévoir des pentes pour les collecteurs qui justifient :
- la garantie d'auto curage (vitesse minimum)
- la sécurité de l'ouvrage pendant les périodes d'orage (vitesse maximum)
- éviter les ouvrages spéciaux (regard de chute, poste relèvement, poste de refoulement)
- assurer l'enterrement des conduites à une profondeur minimum :
- 0,90 sur les voies publiques
- 0,50 sur les allées piétonnes, aux pieds des bâtiments

Poses des conduites :

Les conduites des eaux usées doivent être enterrées par rapport à la génératrice supérieure au minimum :

- sur une voie non carrossable………………………..0,5
- sur une voie carrossable ……………………………0,9
- le fond e la tranchée doit être reglé et débarassé de toutes pierrailles
- un mortier de sable d'une épaisseur de 5 à 10 cm utilise en béton de propreté pour protéger le bas de la conduite et établir la pente prévue.

VI/ organes annexes :

1) **regards** : ce sont des compartiments en maçonnerie ou préfabriqué munis d'un couvercle amovible ; ils permettent l'accès aux canalisations pour d'éventuels branchements, et notamment pour le curage de ces derniers.

2) différents types de regards :

a) **regard de visite** : ils permettent la surveillance et le curage des égouts ainsi que leur aération qui est assurée grâce à une fonte sur le couvercle du regard, ce type de regard est prévu dans les cas suivants :
- au niveau de chaque branchement avec un autre collecteur
- a chaque changement de direction (horizontale ou verticale)
- entre 40 et 50 m d'alignement droit

b) **regard chute** : ce sont des regards analogues aux regards de visite, seulement la chute est plus importante, ce type de regard est prévu lorsque les canalisations sont disposées en forte pente, ce qui entraîne des vitesses très importantes, la chute des effluents dans ces regards permet de briser la vitesse d'écoulement.

c) **bouche d'égout** : destinées à recueillir les eaux usées de la chausse, elle doivent être sélectives pour permettre la retenue du maximum de déchets, elles sont généralement disposées sous le trottoir

d) **regard avaloir** : ils sont généralement places aux points bas des caniveaux destines à la collecte des eaux de ruissellement depuis le caniveau jusqu'à l'égout.

e) **regards à grille** : ce sont des regards de petites dimensions, couvert par une grille en fonte, il sert à évacuer les eaux de ruissellement des parcs, allées piétonnes et des pelouses.

f) **Regards de façade** : ils sont utilises pour les branchements particuliers, disposes plus près de la façade de la propriété à raccorder.

g) **Regards de branchement** : servent au branchement du réseau sanitaire d'un immeuble au réseau d'assainissement, les regards siphoïdes sont conseilles pour éviter les relents des mauvaises odeurs.

h) **Déversoirs d'orage** : c'est un ouvrage en béton arme de section rectangulaire, sa fonction est d'évacuer les pointes exceptionnelles de débit d'orage vers un milieux récepteur, en d'autres termes, il est prévu pour soulager le réseau sanitaire en période d'orage.

Le réseau d'assainissement du projet :

Présentation : on a opte pour notre projet le système unitaire, ce choix est justifié par le fait que le réseau existant est unitaire, en outre, on ne signale aucun rejet toxique dans la région, le collecteur principal transitera les débits confondus des eaux usées et des eaux pluviales, le raccordement au réseau existant s'effectuera au niveau de la route existante, qui présente le

point le plus bas du site, les réseaux et les ouvrages études sont situes sous les voies publiques.

Estimation des débits : le débit de pointe des eaux usées à été négligé devant le débit de pointe des eaux pluviales compte tenu de l'importance de ce dernier.

Calcul du débit de pointe des eaux pluviales : compte tenu de la superficie du site qui est de 9,27 ha, il conviendrait d'appliquer la méthode rationnelle pour le calcul du débit.

Etape à suivre :

- délimiter pour chaque tronçon du réseau les surfaces d'apport qui lui revient
- décomposer cette surface suivant la nature du revêtement qui est caractérisée par le coefficient de ruissellement " C ".
- • parking + chaussée + trottoir + allées piétonnes ………….. C = 0,9
- • espace vert ……………………………………………….C =0,05
- calculer le coefficient de ruissellement de ruissellement pondéré $Cp = \frac{\sum Ci\ Si}{\sum Si}$
- l'intensité moyenne de précipitation de la région de boira est estimée à 180 l/s/ha.
- Calculer le débit de pointe revenant au tronçon considéré par l'expression :
  Qp = Cp.I.St (méthode rationnelle)

Exemple numérique :

Soit le tronçon 4 – 5.
La surface d'apport qu'il lui revient est St dont :
Piéton S0
Parking S1
Trott +chaussée S2 → St = 4561, 13 m²
Toiture S3 0,9.4561, 13 = 4105,02

S4 = 606,25 espace vert → 0,05.606, 25 = 30,31
Le coefficient de ruissellement $Cp = \frac{09.4651,\ 13+0,05.606,\ 25}{4561,13+606,25}$
D'ou Cp = 0,8
Sachant que I = 180 l/s/ha, Cp = 0,8 S = 0,5167 ha
Alors le débit de pointe transitera le tronçon 4-5
Est Q = 180.0, 5167.08 => Qp = 74,41 l/s
Conclusion : on a enregistre au rejet le débit total à évacuer
Q = 1119,26 l/s

Dimension des canalisations :
Les canalisations sont de section circulaire, le dimensionnement a été effectué moyennant la formule de MANNING STRICKLER en fonction de Qp.
Les conditions imposées au réseau ont été respectées dans le choix des diamètres

(0, 5 % < 1 < 10 %; 0, 5 m/s < V < 4 m/s; h = 0, 8 ϕ

Calcul des diamètres:

Connaissant le débit de pointe et la pente affecte à un tronçon quelconque on peut déterminer son diamètre moyennant la formule de MANNING STRICKLER.

$$D = \left(\frac{n.\ Qp}{0{,}03117.\ \sqrt{I}} \right)^{3/8}$$ avec n = 0,012

Exemple d'application :

Pour l'exemple précédent : tronçon 4-5 Qp = 74,41 l/s, mais le débit cumule de point Qp = 120,82 l/s

D'ou $$D = \left(\frac{0,\ 012.10.120,\ 82}{0,\ 03117.\ \sqrt{2,\ 45}} \right)^{3/8}$$ I = 2, 45 %

d = 267, 53 mm

d'ou ϕ = 300 mm; Qps = 151, 37 l/s; Vps = 2, 14 m/s

rQ = Q/Qps = 0,8 ; rV = V/Qps = 1,12 ; rH = 0,66

V = 2,4 m/s

Pour le dimensionnement de réseau (voir tableaux

***-1/ épaisseur équivalente** : par le biais d'un coefficient d'équivalente à utiliser pour les différents matériaux constituant le corps de la chausse.

Ce coefficient d'équivalence est lie au module d'élasticité " E " par la relation suivante :

$$A = 3\sqrt{E}\ /500\ (\text{bars})$$

La valeur “ 5000 ” est relative à un module élastique d’une plaque de concasse dure bien graduée pour une couche de base et dont le coefficient d’équivalence est fixe par définition à 1.
On donne les coefficients “ a ” de certains matériaux calcules sur la base de la formule ci-dessus.

Matériaux	COEFF “ a ”
Béton bitumineux enrobe dense	2,00
Grave de ciment à 4% CPC	1,50
Grave laitier à 20 %	1,50
Sable ciment ou sable laitier	1,20
Couche de base en gravier	1,00
Limon traite à la chaux	1,00
Grave naturel bien gradue Roulée (TVO, tuf)	0,75
Sable, mâchefer, scories, sablon	0,50

<u>*-2/ détermination de la classe du trafic :</u>
La chaussée est appelée à débiter continuellement des véhicules de différents poids, c’est la raison pour laquelle on exige la durabilité de la chaussée.
En fonction du nombre de véhicules passant par jour sur une voie, on est à établir un classement du trafic, qui est dresse dans le tableau suivant :

Trafic en véhicule /j “ T ”	Classement de trafic
T > 15000	Etude spéciale
15000 > T > 6000	T1
6000 > T > 3000	T2
3000 > T > 750	T3
750 > T > 200	T4